



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

## MĚŘENÍ DIELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ KAPALNÝCH PALIV PRO POHONNÉ JEDNOTKY AUTOMOBILŮ

MEASUREMENT OF DIELECTRIC PROPERTIES OF LIQUID FUELS FOR AUTOMOTIVE POWER UNITS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Redr

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Chladil, Ph.D.

BRNO 2020

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

**Student:** Martin Redr

**ID:** 201586

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2019/20

## NÁZEV TÉMATU:

### **Měření dielektrických vlastností kapalných paliv pro pohonné jednotky automobilů**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte dostupnou literaturu zabývající se dielektrickými vlastnostmi paliv pro automobilové pohonné jednotky a seznamte se s metodami jejich měření. U vybraného vzorku paliva stanovte podmínky měření pro zajištění reprodukovatelných výsledků. Proměřte frekvenční a teplotní závislost permitivity a ztrátového činitele vybraných vzorků paliv v širokém rozsahu provozních teplot a frekvencí. Výsledky vyhodnoťte a diskutujte s ohledem na jejich využitelnost v praxi.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího.

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 8.6.2020

**Vedoucí práce:** Ing. Ladislav Chladil, Ph.D.

**doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

# ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývala měřením dielektrických vlastností pohonných hmot. Cílem práce bylo zjistit rozdíly v dielektrických veličinách pohonných hmot od různých výrobců a v různém poměru složek paliva – rafinované a tzv. biosložky. Dále byly popsány teoretické fyzikální podstaty dielektrických látek – permitivity a ztrátového činitele. V práci byly zmíněné nejznámější elektroizolační kapaliny, jejichž dielektrické vlastnosti jsou podobné naftovým palivům, dále pak studie dielektrických vlastností pohonných hmot a vybraná paliva na českém trhu. V experimentální části byly proměřeny vybrané vzorky paliv při měnící se frekvenci a teplotě. Tyto výsledky byly následně vyhodnoceny a porovnány.

# KLÍČOVÁ SLOVA

Nafta, bionafta, relativní permitivita, ztrátový činitel, teplota, frekvence

# ABSTRACT

This bachelor thesis dealt with measuring of dielectric properties of propellants. The aim of the thesis was to find out differences between dielectric quantities of propellants from various manufacturers and in different proportions of refined to so-called bio-components. The theoretical physical principles of dielectric substances – permittivity and dissipation factor were described. In the thesis the most famous electrical insulation fluids whose dielectric characteristics are similar as propellants were mentioned. Furthermore, the study about dielectric properties of propellants and chosen fuels on the Czech market were mentioned. In the experimental part of the thesis, selected fuel samples at varying frequency and temperature were measured. These results were then evaluated and compared.

# KEYWORDS

Diesel, biodiesel, relative permittivity, dissipation factor, temperature, frequency

REDR, Martin. *Měření dielektrických vlastností kapalných paliv pro pohonné jednotky automobilů* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127058>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Ing. Ladislav Chladil Ph.D.

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma Měření dielektrických vlastností kapalných paliv pro pohonné jednotky automobilů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **30. května 2020**

.....

Podpis autora

# PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Ladislavu Chladilovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc při zpracování mé bakalářské práce.

# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>8</b>
<b>1 Teoretická část</b>	<b>9</b>
1.1 Elektrické vlastnosti kapalin .....	9
1.1.1 Všeobecné vlastnosti.....	9
1.1.2 Permittivita.....	9
1.1.3 Ztrátový činitel.....	13
1.1.4 Vlastnosti kapalných izolantů.....	16
1.2 Vybrané druhy kapalných izolantů .....	17
1.2.1 Minerální oleje .....	17
1.2.2 Rostlinné oleje .....	18
1.2.3 Syntetické kapalně oleje .....	18
1.3 Studie dielektrických vlastností pohonných hmot .....	19
1.4 Vybraná paliva na českém trhu.....	23
1.4.1 OMV Diesel .....	23
1.4.2 MOL Group .....	25
1.4.3 SHELL .....	26
1.4.4 Unipetrol .....	27
1.4.5 Čepro a.s. ....	28
1.5 Vliv stárnutí .....	29
1.6 Očekávané výsledky .....	29
<b>2 Praktická část</b>	<b>31</b>
2.1 Sestava pro měření.....	31
2.2 Průběh měření .....	32
2.2.1 Měřené vzorky .....	32
2.2.2 Postup měření .....	33
2.2.3 Optimalizace měřicí procedury.....	35
2.2.4 Vyhodnocení výsledků .....	39
2.2.5 Druhé měření po 1 roce k ověření teorie vlivu stárnutí .....	54
<b>3 Závěr</b>	<b>62</b>
<b>Literatura</b>	<b>64</b>

<b>Seznam obrázků</b>	<b>66</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>69</b>

# ÚVOD

V současné době existuje mnoho měřících metod, nejrozmanitějších sensorů a čidel na měření hladiny či průtoku kapalin využívající dielektrických vlastností dané látky – např. vírové průtokoměry či kapacitní hladinoměry využívají permitivitu měřené látky. Druhé uvedené jsou zajímavé a často používané zejména pro svoji jednoduchou konstrukci a absenci mechanických částí. Spolehlivost všech těchto zařízení je spojena se stabilitou dielektrických vlastností měřené látky. To velice úzce souvisí s permitivitou a ztrátovým činitelem těchto kapalin a jejich stabilitou v širokém teplotním rozsahu. Tyto vlastnosti můžeme shrnout pod pojmem elektrické či dielektrické vlastnosti paliva a jedná se o vzájemnou vazbu mezi substancí a elektrickým polem. Studie vlastností těchto látek má obecně mnoho aplikací i v jiných odvětvích, od studie materiálů, vysokonapěťových izolantů (v takovém případě mluvíme o minerálních olejích izolujících vysokonapěťové transformátory) nebo například v potravinářském průmyslu (kdy se jedná o vlastnosti použitých rostlinných olejů a živočišných tuků po fritování pro následné využití např. v biopalivech).

Specifickou oblastí jsou systémy pro měření kapalných paliv, kdy měřené médium může navíc výrazně měnit svoje dielektrické vlastnosti jednoduše proto, že palivo je směsná látka obsahující velké množství různých chemických látek, jejichž obsah se liší napříč různými výrobci a současně také v průběhu roku či vzhledem ke stáří paliva. Z toho důvodu je vhodné studovat změny dielektrických vlastností těchto látek a případně navrhnout možnosti korekce skrz jiné elektrické vlastnosti tak, aby měřená hodnota byla co nejpřesnější.

Experimentální část v této bakalářské práci se zabývá obecně otázkami měření dielektrických vlastností (permitivita a ztrátový činitel) v závislosti na teplotě a v širokém frekvenčním rozsahu naftových paliv. Pro měření bylo sestaveno pracoviště využívající olejové lázně s termostatem, LCR metr a počítač se softwarem, který byl sofistikován pro měření dané problematiky a který měl ústav elektrotechnologie k dispozici z předešlých let. Dosažené výsledky byly vyhodnoceny v názorných grafech vyjadřujících zmíněné závislosti a porovnány.



# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 Elektrické vlastnosti kapalin

### 1.1.1 Všeobecné vlastnosti

Úvodem je důležité rozlišit, co je dielektrikum a co je izolant. V těchto dvou pojmech je určitá totožnost, ale nejedná se o stejnou věc. Rozdíl je v tom, že každý izolant je dielektrikum, ale ne však každé dielektrikum je izolantem. K dielektrikům se totiž řadí látky, které mají podobné vlastnosti jako polovodiče, např. křemík či germanium. Izolant je tedy čistě látka, která má schopnost izolovat více vodivých částí s různým potenciálem. Dielektrikum se vztahuje k polarizaci částic látek a jejich následných vlastností, např. schopnost akumulovat energii po přiložení elektrického pole (kondenzátor). Elektrické vlastnosti dielektrik závisí na chemickém složení látek, struktuře a skupenství.

Dielektrika se skládají z atomů, molekul či iontů. Kdybychom žili v ideálním světě, tak máme všude kolem nás jen ideální dielektrika, která se vyznačují tím, že mají pouze vázané elektrické náboje. Reálná dielektrika však mají jak vázané, tak i volné elektrické náboje. Jejich základní elektrické veličiny jsou:

- relativní permitivita  $\epsilon', \epsilon_r (-)$
- ztrátový činitel  $\tan \delta (-)$
- vnitřní rezistivita  $\rho_v (\Omega \cdot m)$
- povrchová rezistivita  $\rho_p (\Omega \cdot m)$
- elektrická pevnost  $E_p (V \cdot m^{-1})$

Mimo elektrické vlastnosti se v dielektriku mohou objevit také fyzikální jevy ovlivňující jejich chování ve vnějším i vnitřním elektrickém poli. Jedná se o:

- dielektrické polarizace
- elektrická vodivost
- dielektrické ztráty
- elektrický výboj [1]

### 1.1.2 Permitivita

Komplexní permitivita  $\epsilon^*$  je složena ze dvou částí. Jedna z nich, relativní permitivita  $\epsilon'$ , je reálná část komplexní permitivity a druhá je imaginární složka permitivity  $\epsilon''$ , též označovaná jako ztrátové číslo. Platí pro ně vztah: [1]

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1)$$

Reálná část nám popisuje schopnost látky akumulovat energii a imaginární část nám popisuje schopnost polarizace a vodivostní ztráty, pokud se vyskytnou. Obě části komplexní permitivity jsou bezrozměrné. Komplexní permitivita může být funkcí závislá na teplotě a na úhlové frekvenci vnějšího elektrického pole. Dále může být závislá na tlaku či vlhkosti a na typu dielektrika. Funkci můžeme zapsat ve tvaru: [2] [3]

$$\varepsilon^*(T, \omega) = \varepsilon'(T, \omega) - j\varepsilon''(T, \omega) \quad (2)$$

kde  $T$  je teplota a  $\omega$  je úhlový kmitočet.

Podle Debyeho teorie lze vyjádřit frekvenční závislost komplexní permitivity vztahem:

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + j\omega \cdot \tau} \quad (3)$$

kde  $\varepsilon_s$  představuje statickou permitivitu (pro  $f \rightarrow 0$ ),  
 $\varepsilon_\infty$  představuje optickou permitivitu (pro  $f \rightarrow \infty$ ),  
 $\tau$  je relaxační doba [1] [3]

Nutno poznamenat, že tento vztah platí pouze pro jednu určitou konkrétní relaxační dobu a jeden polarizační mechanismus. Tato rovnice dobře popisuje polarizační děje jen ve slabě polárních dielektrikách. Matematickými úpravami tento vztah můžeme rozdělit na reálnou a imaginární část:

$$Re[\varepsilon^*] = \varepsilon' = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + \omega^2 \cdot \tau^2} ; Im[\varepsilon^*] = \varepsilon'' = \frac{\omega \cdot \tau \cdot (\varepsilon_s - \varepsilon_\infty)}{1 + \omega^2 \cdot \tau^2} \quad (4)$$

Pro vyjádření permitivity jakožto jednotného celku používáme vztah:

$$\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \quad (5)$$

kde  $\varepsilon_0$  je permitivita ve vakuu a je rovna  $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$  a  $\varepsilon_r$  je relativní permitivita, dříve též známa pod pojmem dielektrická konstanta. U všech materiálů je relativní permitivita vždy větší než jedna (vzduch má  $\varepsilon_r = 1,00054$ ), neboť ve vakuu nedochází k polarizaci. Relativní permitivitu definoval Michael Faraday jako bezrozměrnou jednotku. Definoval ji jako podíl kapacity mezi vakuovým kondenzátorem a kondenzátorem obsahujícím dielektrikum. [1] [4] [5] Platí vztah:

$$\varepsilon_r = \frac{C}{C_0} \quad (6)$$

kdy  $C$  je kapacita kondenzátoru

$C_0$  je kapacita vakuového kondenzátoru (geometrická kapacita). [1] [3]

Když se vrátíme k Debyeově teorii a jeho vyjádření komplexní permitivity (3), můžeme ji rozšířit přidáním distribučního koeficientu  $\alpha$ . Je to kmitočtově nezávislý parametr určující šířku a nabývá hodnot  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Nově vzniklá rovnice má tvar:

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha}} \quad (7)$$

Takto nově vzniklá rovnice se nazývá Cole-Coleho rovnice, která respektuje rozptyl relaxačních dob. Pro grafické znázornění vzájemného vztahu obou složek komplexní permitivity, tzn. funkci  $\varepsilon'' = F(\varepsilon')$ , lze použít Cole-Coleho diagram (Obr. 1.1). Pro tohle znázornění si musíme vyjádřit kořeny rovnice z reálné a imaginární části (8), odkud je nutné eliminovat výraz  $\omega\tau$ . Potřebná úprava je následující:

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon_s + \varepsilon_\infty \omega^2 \tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2} ; \quad \varepsilon'' = \frac{\omega \tau (\varepsilon_s - \varepsilon_\infty)}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (8)$$

$$\omega \tau = \sqrt{\frac{\varepsilon' - \varepsilon_s}{(\varepsilon_\infty - \varepsilon')}} ; \quad \varepsilon'' = \omega \tau (\varepsilon_s - \varepsilon_\infty) - \varepsilon'' \omega^2 \tau^2 \quad (9)$$

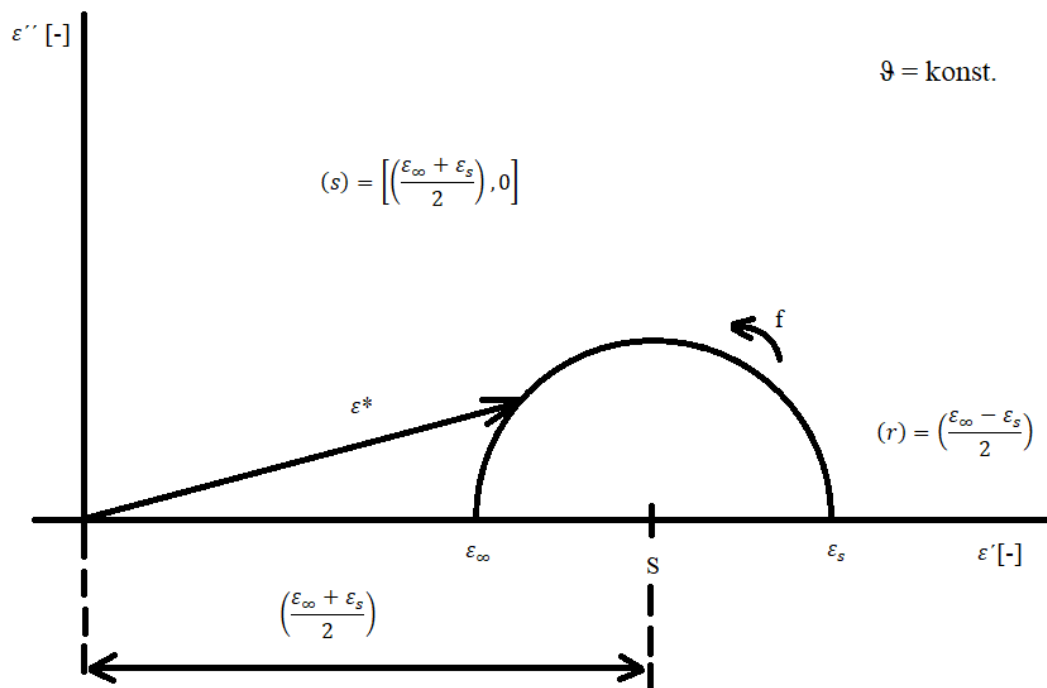
kdy  $\omega\tau$  je vyjádřena z reálné části a doloží se do imaginární části, dostaneme tvar:

$$\varepsilon'' = \frac{(\varepsilon' - \varepsilon_s)^{\frac{1}{2}} (\varepsilon_s - \varepsilon_\infty)}{(\varepsilon_\infty - \varepsilon')^{1/2}} - \frac{\varepsilon'' (\varepsilon' - \varepsilon_s)}{(\varepsilon_\infty - \varepsilon')} \quad (10)$$

dalšími úpravami se dostaneme do tvaru rovnice kružnice, kdy její obecný vzorec vypadá  $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2$ , tato rovnice má tvar:

$$\left[ \varepsilon' - \left( \frac{\varepsilon_\infty + \varepsilon_s}{2} \right) \right]^2 + \varepsilon''^2 = \left( \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon_s}{2} \right)^2 \quad (11)$$

výsledná rovnice má střed  $(s) = \left[ \left( \frac{\varepsilon_\infty + \varepsilon_s}{2} \right), 0 \right]$  a poloměr  $(r) = \left( \frac{\varepsilon_\infty - \varepsilon_s}{2} \right)$ . [3] [4]

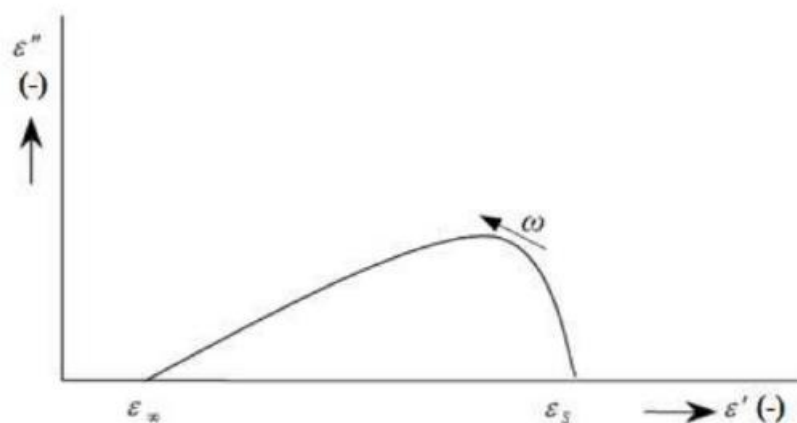


Obr. 1.1: Cole-Coleho diagram pro parametr  $\alpha = 0$  při konstantní teplotě  $\theta$  [3]

Třetí z celkem čtyř úprav Debyeovy rovnice se nazývá Cole-Davidsonova rovnice. Je to úprava přidáním distribučního parametru  $\beta$ . Tento parametr je taktéž frekvenčně nezávislý a určuje míru asymetrie rozložení relaxačních dob. Podobně jako parametr  $\alpha$  nabývá hodnot  $0 \leq \beta \leq 1$ . Výsledná úprava rovnice je následující:

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{(1 + j\omega\tau_0)^\beta} \quad (12)$$

kde  $\beta$  je zmíněný parametr a  $\tau_0$  je nejvíce pravděpodobná relaxační doba, okolo níž jsou relaxační doby rozloženy podle distribuční funkce  $F(\tau)$ . Tato míra asymetrie je vidět na Cole-Davidsonově diagramu (Obr. 1.2), kdy při vysoké frekvenci (pro  $\varepsilon_\infty$ ) je zešikmený geometrický oblouk aproximován do roviny a při nízké frekvenci je to aproximace na kruhový geometrický oblouk. [1] [3] [4]



Obr. 1.2: Cole-Davidsonův diagram s distribučním parametrem  $\beta$  [6]

Poslední úprava je vlastně sloučení Cole-Coleho a Cole-Davidsonovy rovnice, respektive spojení parametrů  $\alpha$  a  $\beta$  v jednu rovnici. Ta nese název Havriliak-Negamiho rovnice a je ve tvaru:

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}}{[1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha}]^{\beta}} \quad (13)$$

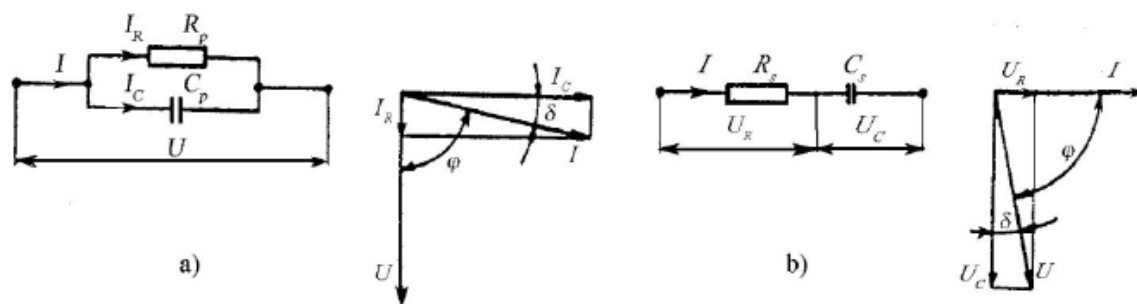
kde  $\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}$  je intenzita relaxačního procesu,  
 $\alpha$  je distribuční parametr určující šířku,  
 $\beta$  je distribuční parametr určující míru asymetrie rozložení relaxačních dob,  
 $\tau_0$  je opět nejpravděpodobnější relaxační doba.

Pro případ, kdyby nastalo limitně  $\alpha \rightarrow 0$  a  $\beta \rightarrow 1$ , rovnice přechází opět v čistě Debyeho tvar. Oba parametry však nemají pouze matematický význam, ale také fyzikální, kdy parametr  $\alpha$  určuje vzájemnou kooperativu otáčejících se dipólů a  $\beta$  vyjadřuje prostorové omezení otáčejících se dipólů. [1] [3] [4] [6]

### 1.1.3 Ztrátový činitel

Ztrátový činitel je spolu s činitelem jakosti ukazatelem, který vyjadřuje míru ztrát v dielektriku a jeho kvalitu. Společně s permitivitou souvisí s chemickou výstavbou (počtem polárních skupin, jejich rozložení a dipólovým momentem) a s pohyblivostí iontů. U všech dielektrik je ztrátový činitel závislý na teplotě a kmitočtu, u feroelektrik je navíc závislý na intenzitě elektrického pole. Pro určení kvality izolačního materiálu se zjišťuje navíc závislost ztrátového činitele na napětí. Dobré dielektrikum se určuje podle míry ztrátového činitele, kdy se jedná o hodnotu menší než  $10^{-3}$ , horší dielektrické materiály mají hodnotu ztrátového činitele větší než  $10^{-2}$ . Pro vyjádření ztrátového

činitele lze použít náhradního obvodu kondenzátoru se ztrátovým dielektrikem a jeho fázovým diagramem vyobrazeném na Obr. 1.3. Tyto náhradní obvody dostatečně nevysvětlují fyzikální podstatu dielektrických ztrát, pouze simulují chování kondenzátoru s reálným dielektrikem (ztrátový prvek – odpor) ve vnějším obvodu. [1] [7]



Obr. 1.3: Náhradní zapojení kondenzátoru se ztrátovým dielektrikem a jeho fázový diagram – a) paralelní kombinace, b) sériová kombinace [1]

Ztrátový činitel lze vyjádřit z Debyeovy rovnice pro komplexní permitivitu:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\operatorname{Im}[\varepsilon^*]}{\operatorname{Re}[\varepsilon^*]} = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (14)$$

kde  $\operatorname{tg} \delta$  je ztrátový činitel a samotně  $\delta$  je ztrátový úhel.

Pro sériový náhradní obvod platí následující vztahy:

$$\operatorname{tg} \delta = \omega \cdot R_s \cdot C_s \quad (15)$$

$$P_Z = \frac{\omega \cdot C_s \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \delta}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} \quad (16)$$

kde  $C_s$  je sériově zapojený kondenzátor,  
 $R_s$  je sériově zapojený ztrátový prvek – odpor,  
 $P_Z$  jsou výsledné dielektrické ztráty.

Pro paralelní náhradní obvod platí vztahy:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega \cdot R_p \cdot C_p} \quad (17)$$

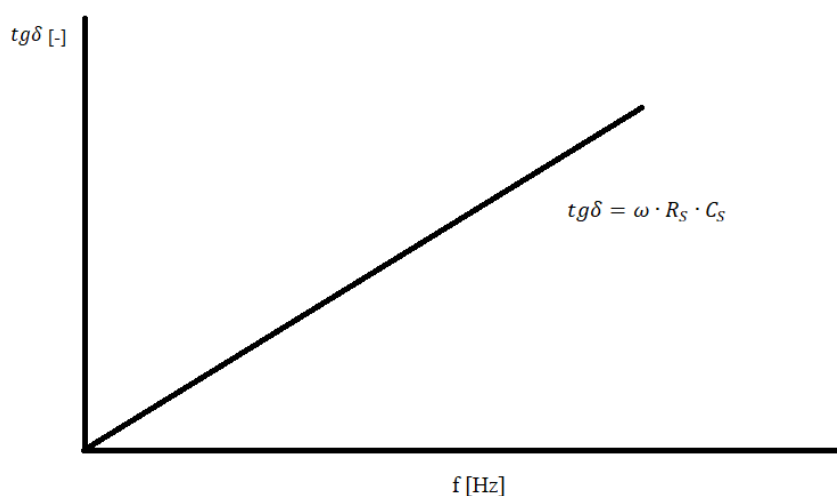
$$P_Z = \omega \cdot C_P \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (18)$$

kde  $C_P$  je paralelně zapojený kondenzátor,  
 $R_P$  je paralelně zapojený ztrátový prvek  
 $P_Z$  jsou výsledné dielektrické ztráty.

Výsledná velikost dielektrických ztrát je dána vztahem:

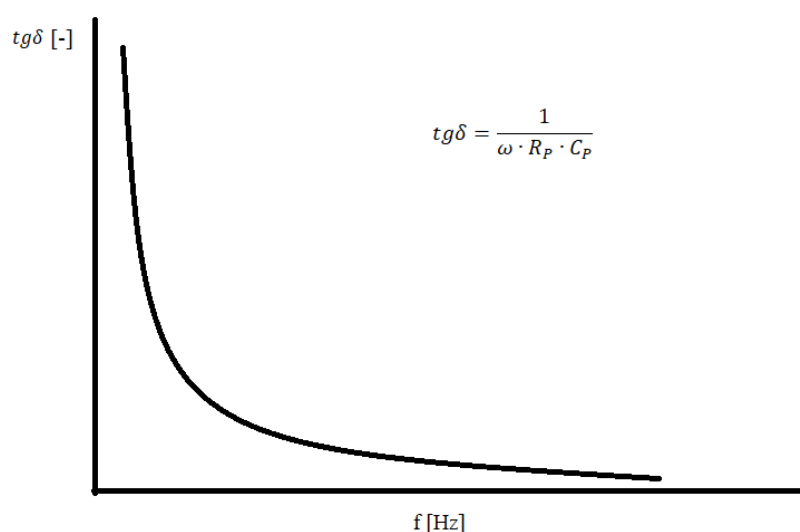
$$P_Z = \omega \cdot C \cdot U^2 \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (19)$$

[3] [7]



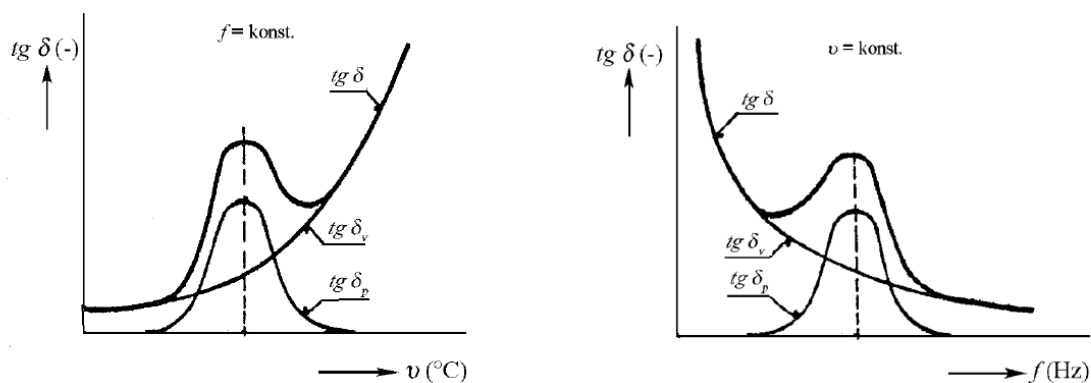
Obr. 1.4: Frekvenční závislost ztrátového činitele pro sériový náhradní obvod

Na Obr. 1.4 je znázorněn průběh závislosti ztrátového činitele na frekvenci pro sériový náhradní obvod. Průběh je lineární, který lze odvodit i z rovnice funkce. Na Obr. 1.5 je znázorněn průběh frekvenční závislosti ztrátového činitele pro sériový náhradní obvod. Jedná se o křivku typickou pro lomenou funkci, což odpovídá i rovnici pro tento náhradní obvod.



Obr. 1.5: Frekvenční závislost ztrátového činitele pro paralelní náhradní obvod

Na Obr. 1.6 jsou průběhy ztrátového činitele při změně teploty a konstantní frekvence a změny ztrátového činitele při konstantní frekvenci a změně teploty. Jsou zde uvedeny tři typy ztrát, první celkový ztrátový činitel  $\text{tg}\delta$ , který zahrnuje všechny ztráty, poté ztráty vodivostní  $\text{tg}\delta_v$  a ztráty polarizační  $\text{tg}\delta_p$ . Tyto ztráty mají rozdílné fyzikální podstaty, ale jsou souhlasné ve výsledném působení na dielektrikum. [3]



Obr. 1.6: Teplotní závislost ztrát při konstantní frekvenci (vlevo) a frekvenční závislost ztrát při konstantní teplotě (vpravo) [1]

### 1.1.4 Vlastnosti kapalných izolantů

Kapalné izolanty jsou buď polární nebo nepolární látky s kovalentní chemickou vazbou mezi molekulami. U nepolárních (neutrálních, čistých) kapalin jsou přítomny molekuly,



které se vyznačují souměrným rozložením kladných nábojů (jádro atomu) a záporných nábojů (elektrony v obalu). Ztráty se zde vyskytují vodivostní, a to pouze v minimálním množství. Polarizační ztráty se zde téměř vůbec nevyskytují. Je to dáno tím, že nepolární kapaliny nemají dipólové molekuly. Polární látky naopak tyto dipólové molekuly mají. Takové látky mohou vytvářet elektrické dipóly i v nepřítomnosti elektrického pole. Navenek jsou však neutrální – dipóly jsou uspořádány nepravidelně. Oproti nepolárním se vyznačují nerovnoměrným rozložením kladných a záporných nábojů. Jejich chemická vazba se může blížit i iontové. To je dáno elektronegativitou prvků, jejichž atomy jsou slučovány do molekul. Jejich ztráty jsou vodivostní i polarizační.

Další důležité vlastnosti kapalných izolačních materiálů jsou fyzikální podstaty. Jedná se o viskozitu, bod tání a tuhnutí a teplotní závislosti.

Některé druhy kapalných izolačních materiálů mohou být hořlavé, na jejich kvalitě se může podepsat jejich stáří či působení vlhkosti. Jejich vlastnosti, jako například elektrickou pevnost nebo elektrickou vodivost, může zhoršit přítomnost vody či nežádoucích nečistot. [7] [8]

## **1.2 Vybrané druhy kapalných izolačních materiálů**

Mezi kapalnými izolačními materiály se řadí minerální oleje, rostlinné oleje a syntetické kapalnými izolačními materiály.

### **1.2.1 Minerální oleje**

Minerální oleje jsou vyráběny z ropy, která je složena z uhlovodíků parafinických, naftenických, aromatických a nečistot. Ropy se dělí podle největšího zastoupení z daných uhlovodíků. Podle těchto uhlovodíků, které nejvíce ovlivňují charakteristické vlastnosti ropy, jsou po nich poté pojmenovány. Tak máme ropy parafinické, naftenické a aromatické. Minerální oleje používané pro elektroizolační aplikace jsou vyráběny z parafinické a naftenické ropy.

Minerální oleje se z ropy vyrábějí několika procesy. Prvním je vakuová destilace, kdy se ropa rozdělí na jednotlivé frakce. Frakce se dále zpracovávají pro výrobu pohonných hmot nebo mazacích prostředků. Po oddělení benzinové a petrolejové složky destilováním zůstane mazut, ze kterého se další destilací oddělují lehké a těžké olejové složky. Tyto olejové destiláty se rafinací zbavují nežádoucích látek. Tato metoda se prováděla za pomoci kyseliny sírové. Ovšem z této metody vznikaly nepřijatelné odpadní látky pro životní prostředí, proto se přešlo na metodu založenou na extrakci do selektivních rozpouštědel, jako jsou fenoly apod. Takto pročištěné oleje se dále upravují různými přísadami, jako například přidáním antioxidantů a detergentů. Antioxidanty se přidávají, protože jsou oleje náchylné na oxidaci, detergenty pak pro větší čistotu. [7] [9]

### 1.2.2 Rostlinné oleje

Rostlinné oleje se získávají lisováním rostlinných semen. Rozdělujeme je na oleje vysychavé a nevysychavé. Zástupce vysychavých olejů je například olej lněný nebo dřevný, které se používají pro výrobu laků. Nevysychavé oleje, jako je například slunečnicový nebo ricinový, se používají k napouštění papírových kondenzátorů. [7]

### 1.2.3 Syntetické kapalně oleje

Do této skupiny olejů patří zejména silikonové kapalně izolanty, chlorované uhlovodíky a fluorované uhlovodíky. Ke vzniku syntetických olejů vedly nedokonalé vlastnosti minerálních olejů, jako jsou hořlavost, pohlcování vzdušné vlhkosti, stárnutí a malá poměrná permitivita.

- Chlorované uhlovodíky

Jsou to uhlovodíky, které mají ve svých molekulách jeden nebo více atomů vodíků nahrazené atomem chloru. Přítomný chlor zlepšuje vlastnosti izolantu. Způsobuje nehořlavost a zvyšuje poměrnou permitivitu a ztrátový činitel. Jedněmi z nejznámějších jsou chlorované difenyly. Jejich vlastnosti se liší podle počtu chloru v molekule obsazených místo vodíku. Pro izolanty se používají pentachlordifenyly a směsi trichlordifenyly až hexachlordifenyly. Jejich využití je pro výrobu silových kondenzátorů a jako izolační a chladicí kapaliny u transformátorů. Jejich výpary jsou škodlivé pro zdraví.

- Fluorované uhlovodíky

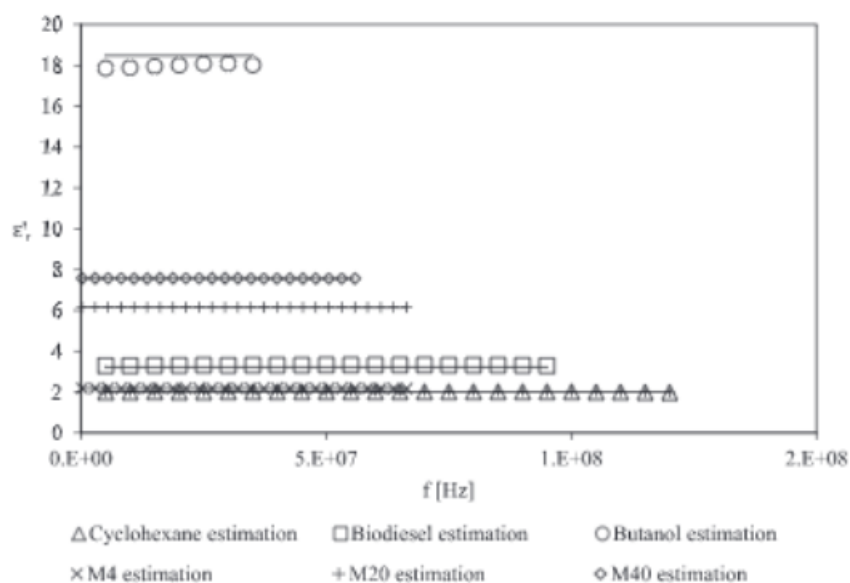
V těchto uhlovodících jsou atomy vodíku nahrazeny atomy fluoru. Vyznačují se nehořlavostí a nevýbušností. Mají malou viskozitu a nižší bod tuhnutí než transformátorové oleje. Jsou dobré pro výkonové transformátory, které mají vysokou pracovní teplotu. Mohou se totiž používat až do 250 °C. Vyznačují se velkou elektrickou pevností, poměrnou permitivitou 1,8 a ztrátovým činitelem menším než  $5 \cdot 10^{-4}$ .

- Silikonové kapalně izolanty

Jedná se o bezbarvou látku vyráběnou v různých druzích, které mají rozdílnou viskozitu. Jsou chemicky stálé, nehořlavé a nezápalné. V porovnání s minerálními oleji jsou drahé. Proto se nepoužívají ve velkém množství, pouze u malých transformátorů a u kondenzátorů s napuštěnou papírovou izolací. Používají se mimo jiné při odlévání do silikonových forem. [7] [8]

### 1.3 Studie dielektrických vlastností pohonných hmot

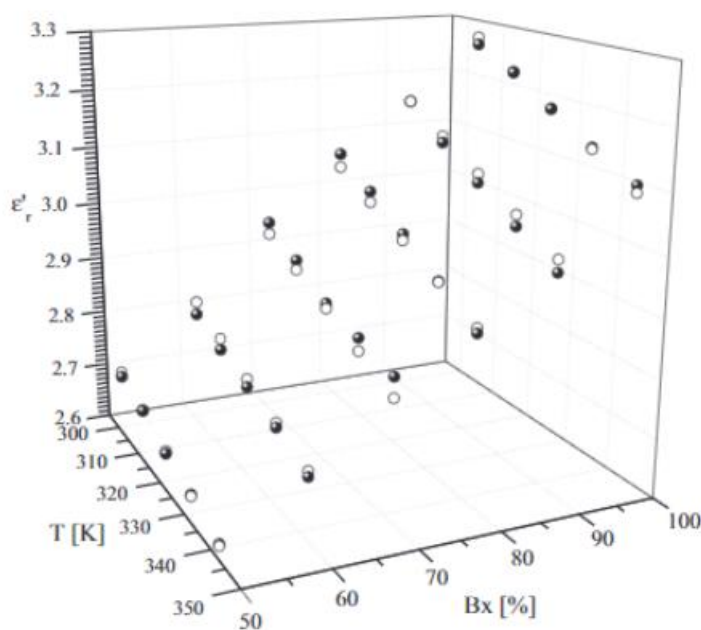
Julián Corach a spol. [2] publikovali studii, která se zabývala senzorem, který má sloužit pro měření permitivity v širokém rozsahu frekvence čisté bionafty a bionafty s přidanými příměsemi. Senzor byl vytvořen pouze z nerezové oceli a z polytetrafluoretylenu (PTFE), aby byla zajištěna kompatibilita s mnoha látkami přidaných ve vzorcích paliva a výsledky byly nezkreslené. Tyto materiály byly taktéž zvoleny z důvodu lehčí konstrukce, snadnější montáž, obrábění a také musí být robustní, odolné, a hlavně nesmí být příliš drahé. Provedení elektrod bylo zvoleno jako střední cesta mezi konstrukcí (zejména bezproblémový tok kapalin) a optimální  $C_0$ , kdy tuto hodnotu měřili pro malé frekvence (do 100 kHz) a vysoké frekvence (v rozsahu od 510 kHz do 950 MHz). Hodnotu při malých frekvencích stanovovali podle matematického popisu kapacit elektrodového systému, kterou poté stanovili i změřením. Rozdělili ji na relativní kapacitu a imaginární část. Imaginární část byla zanedbatelná. Hodnota geometrické kapacity systému pro malé frekvence pak byla stanovena na  $C_0 = (19,56 \pm 0,03)$  pF. Pro vysoké frekvence použili harmonický signál, kdy sledovali odraz vlny, aby stanovili elektrické ztráty systému. V důsledku měření vyhodnotili, že měření je přesné s malým koeficientem odrazu a s malými ztrátami. Poté přistoupili k měření permitivity určitých vzorků. Výsledky jsou uvedeny na Obr. 1.7, kdy lineární křivka je očekávaný výsledek, který je již známý. Z tohoto obrázku můžeme konstatovat, že jejich navržený elektrodový systém s použitou měřicí metodou je velmi přesný. [2]



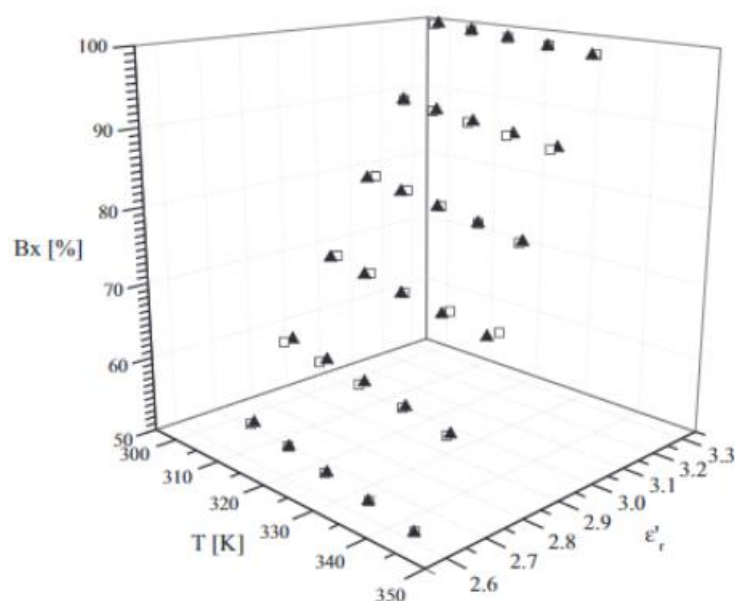
Obr. 1.7: Referenční hodnoty (přímka) a změřené hodnoty permitivity cyklohexanu ( $\Delta$ ), bionafty ( $\square$ ) a butanolu ( $\circ$ ) [2]

Jejich další práce [10] se zabývala měřením relativní permitivity čisté bionafty až po kompozici bionafty smíchanou s 50 % fosilního naftového paliva. Všechny použité

vzorky měly skladovací dobu kratší než 3 měsíce, a proto byly vizuálně zkontrolovány. Ve studii se objevuje zkratka „Bx“, která vyjadřuje procentuální zastoupení složky bionafty v daném poměru s fosilní naftou. Pro příklad B100 značí čistou bionaftu a B0 značí čistě fosilní naftu. Z důvodu obav o životní prostředí a zásob fosilní nafty je mnoha státy přikázáno fosilní paliva kompletovat s biosložkou. Samotné měření prováděli s nejistotou pod 1 % mezi teplotami od 303 K po 343 K ( $\approx 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) s krokem 0,1 K ve frekvenčním rozsahu od 20 kHz do 2 MHz. Byly sestaveny trojrozměrné grafy, závislost relativní permitivity na teplotě a procentuálním obsahu bionafty v kompozici (Obr. 1.8) a závislost procentuálního zastoupení přidané složky bionafty v kompozici na teplotě a relativní permitivitě (Obr. 1.9). Každá kompozice překvapivě odpovídala lineární závislosti na teplotě. Stejně tak lineárně odpovídala permitivita na obsahu bionafty při konstantní teplotě, s rostoucí teplotou však mírně klesala. Všechny uvedené výsledky v této práci ukazují, že měření dielektrických vlastností jsou cenným nástrojem pro stanovení obsahu bionafty ve směsích bohatých na bionaftu z rostlinných olejů a fosilní nafty. Tyto kompozice jsou ekonomickou alternativou hlavně v rozvojových zemích, kde jsou biopaliva dostupná od místních farmářů ve velké míře. Proto se musí držet na paměti to, že je několik důvodů, kdy je potřeba zajistit, aby tyto kompozice byly nezávadné pro životní prostředí a technologicky adekvátní. Samozřejmě to neplatí jen pro rozvojové země. [10]

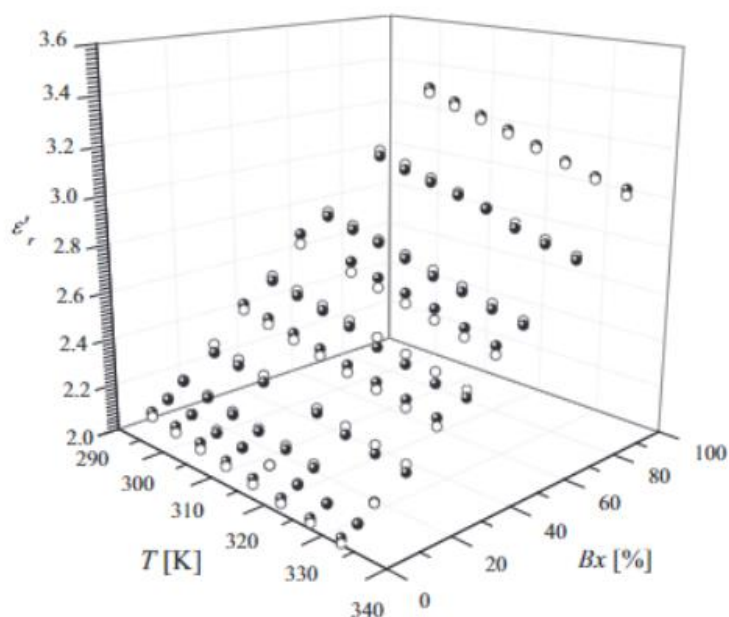


Obr. 1.8: Trojrozměrný graf závislosti relativní permitivity na teplotě a procentuálním zastoupení bionafty – experimentální měření (•) a odhadnuté hodnoty (○) z matematického popisu [10]



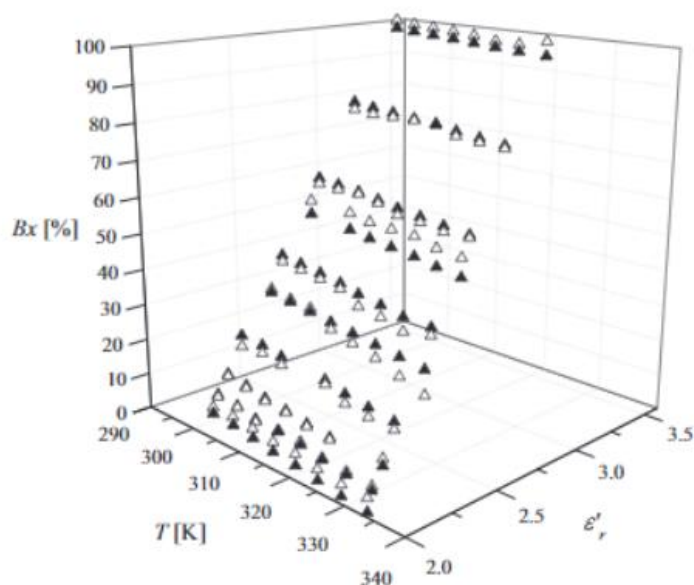
Obr. 1.9: Trojrozměrný graf závislosti procentuálního zastoupení biosložky v kompozici ( $B_x$ ) na teplotě a relativní permitivitě – experimentálně změřené složky kompozice (▲) a odhadnuté  $B_x$  dle matematického popisu jako funkce teploty a relativní permitivity (□) [10]

Tato poslední práce se zabývala podobným tématem jako předchozí. Byla měřena relativní permitivita naftového fosilního paliva a s příměsemi bionafty. Začínali od čisté nafty až po 100 % bionafty. Měření bylo prováděno mezi teplotami od 298 K po 333 K ( $\approx 25^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}$ ) s kontrolovaným zvyšováním o 0,1 K ve frekvenčním rozsahu od 1 kHz po 100 kHz. Opět byla dodržena nejistota měření pod 1 % a taktéž byla prokázána lineární závislost na teplotě a složení. Výsledné grafy pro závislost permitivity na  $B_x$  a teplotě a závislost  $B_x$  na teplotě a permitivitě jsou vyobrazeny na Obr. 1.10 a Obr. 1.11. [11]



Obr. 1.10: Závislost relativní permitivity na teplotě a daného Bx – experimentálně změřená data (•) a matematický odhad (○) [11]

Můžeme si povšimnout, že předchozí experiment měl při teplotě 300 K a Bx = 50 % relativní permitivitu přibližně  $\epsilon_r = 2,7$ . V této studii naměřili při teplotě 300 K a Bx = 50 % relativní permitivitu přibližně také 2,7. Tato studie uvádí, že při teplotě 298 K a B0 (nulový podíl bionafty) je relativní permitivita vzorku rovna  $\epsilon_r = 2,13$ . Bohužel ani jedna studie neuvádí přesné složení vzorků (složení fosilní nafty a bionafty). Z toho důvodu můžeme usuzovat, že se jedná o velmi podobná složení.



Obr. 1.11: Závislost podílu biosložky Bx na teplotě a relativní permitivitě – obsah bionafty ve vzorku (▲) a odhad na základě matematického popisu (Δ) [11]

## 1.4 Vybraná paliva na českém trhu

### 1.4.1 OMV Diesel

Firma OMV je jedním z předních dodavatelů plynu a nafty v mezinárodním měřítku. Mají k dispozici tři rafinérie, síť čerpacích stanic a skladovací místa pro výrobky, které jsou k dispozici i v České republice. Dodávají benzín, naftu a aditiva jako např. AdBlue.

Nafty OMV Diesel jsou vyráběny podle podnikových vysokých standardů ale dále podle evropské normy EN 590, který zahrnuje standard CFPP (*Cold Filter Plugging Point*). Taktéž splňují národní požadavky Euro 5 a Euro 6. Všechny uvedené informace o jednotlivých palivech zaručuje výrobce. Od této firmy jsou dostupné 3 druhy nafty:

- OMV Diesel EN 590
- OMV Diesel Plus
- OMV Diesel CleanTech

Každý z těchto druhů má jiná složení a podle toho i různé benefity. Benefity shrnuje informační přehledová tabulka Tab. 1.1.

Tab. 1.1: Informační tabulka benefitů jednotlivých naft firmy OMV Diesel [12]

Benefity	OMV Diesel EN 590	OMV Diesel Plus	OMV Diesel CleanTech
Odpovídá normám EN 590, Euro 5 a Euro 6	+	+	+
Testováno dle norem OMV	+	+	+
Čistící efekt: usazeniny ve vstřikovačích		+	+
Antikorozní efekt: zvýšení životnosti		+	+
Protipěnový efekt: pro rychlejší tankování		+	+
Menší spotřeba paliva při maximálním výkonu motoru		+	+

Speciální nafta			+
Obsah HVO			+
Zvýšený čistící efekt			+
Filtrovatelnost při nízkých teplotách			+

#### OMV Diesel EN 590

Jedná se o primární výrobek firmy OMV. Složená je ze základní nafty, což jsou metylestery mastných kyselin a biosložkou FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*). Jedná se o estery mastných kyselin. FAME je získávána procesem nazývaným esterifikace. Chemickou reakcí látek je získáván ester za přítomnosti alkoholu. V tomto případě se jedná o organické látky, jako jsou rostlinné nebo živočišné tuky.

#### OMV Diesel Plus

Diesel plus je stejně jako Diesel EN 590 složen ze základní nafty a biosložky FAME. Dále jsou však přidána výkonová aditiva. Tento produkt garantuje dle výrobce nižší emise a spotřebu díky čistící schopnosti aditiv, které čistí usazeniny ve vstřikovacím systému. Dále zvyšuje ochranu před korozí motoru. Posledním benefitem tohoto paliva jsou protipěňivá čidla, jenž zkracují čerpací dobu.

#### OMV Diesel CleanTech

Poslední ze skupiny naft OMV Diesel je OMV Diesel CleanTech. Tento produkt je složen ze speciální nafty, biosložky HVO a extra sady výkonových aditiv. Speciální nafta se od základní liší tím, že má vyšší cetanové číslo. Toto číslo udává vznětovou charakteristiku nafty. Biosložka HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*) se sestává z hydrogenovaných rostlinných olejů. Tyto rostlinné oleje byly hydrogenovány na čisté uhlovodíky. Výhody HVO oproti FAME jsou např. snížení emisí až o 42 %, dodávají vyšší energetický výkon a zaručují nižší spotřebu. Zároveň mají vyšší trvanlivost. Vylepšená sada výkonového aditiva zvyšuje čistící efekt vstřikovačů, životnost motorů a naopak snižují emise a spotřebu paliva. [12]



## 1.4.2 MOL Group

MOL Group je ropný a plynárenský koncern založený v Maďarsku. Má mnoho dceřiných společností ve více než 40 zemích světa. Mezi tyto dceřiné společnosti patří například Slovnaft na Slovensku, dále pak INA v Chorvatsku nebo MOL Česká republika.

Paliva od MOL Group jsou známa pod pojmenováním EVO. Vyrábějí se jak v naftovém, tak v benzínovém charakteru. Navíc vyrábějí pohonné hmoty na bázi plynu. Všechna tato paliva obsahují aditiva, která chrání motor před korozí a usazováním nečistot. Všechny uvedené informace zaručuje výrobce. Jedná se o paliva:

- EVO 95
- EVO NATURAL 100+
- EVO Diesel
- EVO Diesel+

### EVO 95

Palivo benzínového charakteru EVO 95 (dříve znám jako Natural) zaručuje až o 99 % méně usazenin ve starších motorech typu PFI (*Port Fuel Injection*) v porovnání s referenčním palivem. Toto referenční palivo je standardní palivo, na jehož technických specifikacích se dohodli zástupci automobilového průmyslu, výrobci aditiv a výrobci pohonných hmot. Pro novější motory typu GDI (*Gasoline Direct Injection*) momentálně neexistuje žádný standardizovaný test pro kontrolu čistícího efektu, jediným testem je test detergentních vlastností, který spadá pod normu CEC F-20-98.

### EVO Diesel

Jedná se o naftové palivo, které podle dodavatele zaručuje snížení výkonových ztrát u turbo motorů až o 57 % oproti referenčnímu palivu. Pro motory bez turbo vstřikovačů je toto snížení až o 45 %, opět oproti referenčnímu palivu. Díky tomuto čištění zajišťuje optimální chod motoru.

### EVO NATURAL 100+ a EVO Diesel+

Prémiová paliva EVO NATURAL 100+ a EVO Diesel+ obsahují až dvojnásobné množství přidaných aditiv. Spolu s nimi se do paliv přidávají látky, které zabraňují výskytu mikroorganismů, obsahují antikorozi látky, maziva či čistící prostředky. Tohle vše zaručuje vyšší výkon motoru a jeho delší životnost, ale také klidný a bezproblémový start v jakémkoliv ročním období. [13]

### 1.4.3 SHELL

Společnost Shell je ve světě již od počátku 19. století, kdy začínala v Anglii. Poté se rozrostla do Nizozemska. Do České republiky se dostala začátkem minulého století. Nyní působí ve více než 70 zemích světa, má 23 rafinérií a téměř 100 000 zaměstnanců.

Paliva Shell se prodávají ve třech řadách, kdy každá řada má svoji benzínovou, dieselovou nebo obě složky dohromady. Všechny tyto řady obsahují technologii DYNAFLEX, což je firemní označení pro nejnovější generaci složení benzínových a naftových paliv. Pro jednotlivé pohonné hmoty je tato technologie rozdílná. Jedná se o chemickou směs látek, která pomáhá zachovat účinnost motoru a čistotu palivového systému. Informace o jednotlivých palivech jsou uvedeny dle tvrzení výrobce. Paliva společnosti Shell:

- Shell V-Power 95 (benzínový charakter) a Diesel (naftový charakter)
- Shell V-Power Racing 100 (benzínový charakter)
- Shell FuelSave Natural 95 (benzínový charakter) a Diesel (naftový charakter)

#### Shell V-Power 95

Jedná se o prémiové 95oktanové palivo, které je tak dostupné pro řidiče, kteří mohou využít výhod prémiového paliva a nepotřebují tankovat vysokooktanový benzín Shell V-Power Racing 100. Toto palivo obsahuje v porovnání s Shell FuelSave Natural 95 až 3x více čistících složek.

#### Shell V-Power Diesel

Toto palivo odstraňuje vyskytnuté usazeniny na vstřikovačích motoru, čímž ho čistí a pomáhá mu pracovat správným nezadrhávým způsobem. Zároveň palivo pomáhá proti tvorbě nových nečistot a usazenin. Navíc napomáhá ke snížené tvorbě koroze a ochraňuje části palivového systému.

#### Shell V-Power Racing 100

Palivo SHELL V-Power Racing 100 deklaruje zvýšenou koncentraci technologie DYNAFLEX. Bylo vyvinuto za spolupráce s automobilkou Ferrari tak, aby napomáhalo k vyšším výkonům nejnovějších motorů. Taktéž obsahuje čistící složky a složky, které zabraňují tření a tím ztrátám energie.

Paliva řady FuelSave obsahují s novou technologií více účinnějších látek v boji s odstraňováním a usazováním nečistot. [14]

#### 1.4.4 Unipetrol

Unipetrol je rafinérská a petrochemická skupina s důležitým zastoupením na českém trhu. Na území České republiky se jedná o jediného zpracovatele ropy a jednoho z nejdůležitějších výrobců plastů vůbec. Ve svém majetku má 416 čerpacích stanic Benzina, 2 rafinérie a 3 polyolefinové jednotky. Od roku 2005 je součástí skupiny PKN Orlen, polské petrochemické společnosti.

Z benzinových produktů nabízí bezolovnatý benzín BA 95 a Ultra 95. Z naftových produktů se jedná o motorovou naftu třídy B, D, F, motorovou naftu třídy 2 (pro silné mrazy) a UltraDiesel (jedná se o aditivovanou naftu). Mezi další produkty se řadí letecký petrolej JET A-1 a topný olej TOEL/ETO. Informace o palivech jsou tvrzením výrobce paliv.

- Bezolovnatý automobilový benzín BA 95

Jde o směsi uhlovodíků s bodem varu mezi 30 až 215 °C získané z ropy destilací a dalšími technologickými procesy. Palivo může obsahovat detergentní, antioxidační a další užitečné složky. Základní kvalitativní parametry jsou dle specifikací normy ČSN EN 228. Oktanové číslo motorovou metodou je stanoveno na minimální hodnotu 85. Tento benzín je vhodný pro zážehové motory silničních motorových vozidel a nesmí se používat pro vozidla určená pro provoz na pracovištích a v uzavřených prostorech.

- Ultra 95

Aditivovaný benzín Ultra 95 je bezolovnatý automobilový benzín vhodný pro zážehové motory silničních motorových vozidel. Jeho aditiva vylepšují mazivost a tím snížení tření motoru pro vyšší výkon, má protikorozi vlastnosti, potlačuje tvorbu emulzí a usazenin a díky nízké pěnivosti usnadňuje tankování. Základní kvalitativní parametry jsou dle normy ČSN EN 228.

- Motorová nafta třídy B, D, F, třídy 2 a UltraDiesel

Jde o směsi kapalných uhlovodíků s bodem varu v rozmezí 150 až 370 °C získané destilací a hydrogenační rafinací. Motorové nafty mohou obsahovat aditiva pro zdokonalení vlastností nafty. Jedná se o detergenty, mazivostní přísady a látky potlačující korozi. Základní kvalitativní parametry jsou dány dle normy ČSN EN 590. Jsou vhodné pro vznětové motory.

Jako hlavní rozdíl u třídy B, D a F se určuje časové rozmezí pro expedici a filtrovatelnost. Motorová nafta třídy 2 je specifická pro svoje cetanové číslo určující vznětovou charakteristiku a tím je vhodná do silných mrazů. Aditivovaná forma nafty UltraDiesel svým složením utlumuje tvorbu emulzí a usazenin, čímž chrání motor proti opotřebení a jeho hlučnost. Navíc zásluhou nižší pěnivosti umožňuje snazší tankování.

### 1.4.5 Čepro a.s.

Čepro je akciová společnost, která vznikla k 1. lednu 1994 po privatizaci státního podniku Benzina. Zajišťuje zejména přepravu, skladování a prodej ropných produktů. Společností Čepro je zajištěna ochrana státních rezerv a provozování čerpacích stanic EuroOil. Jedná se o třetí největší síť čerpacích stanic na území České republiky. Informace o uvedených palivech jsou tvrzením výrobce, který je garantuje. Mezi jejich produkty se řadí následující:

- Optimal Diesel+
- Optimal Diesel
- BA 95 Optimal
- BA 98 Super Plus
- BA 95 Natural
- LPG, CNG
- AdBlue

#### Optimal Diesel+

Prémiová motorová nafta Optimal Diesel+ je bez přídavné biosložky. Místo toho obsahuje multifunkční aditivum, které má pozitivní dopad na životnost motoru a úsporu paliva. K dostání je pouze na vybraných čerpacích stanicích EuroOil. Za velký přínos se považuje dlouhodobé skladování v porovnání s ostatními konkurenčními palivy, kdy díky menšímu pohlcování vzdušné vlhkosti se dá skladovat až 2 roky.

#### Optimal Diesel

Naftové palivo Optimal Diesel je stejně jako Optimal Diesel+ bez přidaného podílu biosložky. Díky tomu je méně náročné na skladování a použití. Kvalita splňuje všechny požadavky dle normy ČSN EN 590. K dostání je na všech čerpacích stanicích EuroOil.

#### BA 95 Optimal

BA 95 Optimal je palivo benzínového bezolovnatého charakteru. Zajišťuje tzv. „*clean up*“ a „*keep clean*“ efekt, neboli čistí a udržuje spalovací motor a jeho součásti v čistém stavu. Snížené tření díky zvýšenému mazacímu účinku zvyšuje výkon motoru a snižuje spotřebu paliva až o 4 %. Palivo taktéž snižuje obsah škodlivého oxidu dusíku ve výfukových plynech. Kvalitativní parametry jsou dány dle normy ČSN EN 228.

#### BA 95 Natural a BA 98 Super Plus

Jde o bezolovnaté benzínové pohonné hmoty, které se od sebe liší pouze oktanovým číslem. Jsou určeny pro zážehové motory a jejich kvalitativní parametry jsou dány dle normy ČSN EN 228. [16]

## 1.5 Vliv stárnutí

Na kvalitu paliva během celé jeho cesty od výroby z vytěžené ropy v rafinerii až po konečné spalování v motorech automobilů má vliv několik činitelů. Zejména se jedná o stárnutí v důsledku neřízené oxidace kyslíku obsaženého v palivu a přítomnosti kovů. Kovy se do paliva mohou dostat např. při převážení v barelech, ale také při skladování a stopové množství se do paliva může dostat také při samotné těžbě ze zemského povrchu. Pro určení degradace je nejdůležitější kvalitativní parametr, tzv. termicko-oxidační stabilita paliva. Během oxidace paliva dochází k chemickým přeměnám látek obsažených v palivu a k fyzikálním změnám, např. za vlivu UV záření či při změnách teploty.

S příchodem biosložek a vznikem biopaliv a jejich kompozitních složení s fosilními palivy dochází ke zhoršení oxidační stability natolik, že není možné uchovávat tyto pohonné látky déle jak 3 měsíce. Ovšem pokud se nejedná o aditiva, oxidačně stálé látky, jako jsou např. čisté uhlovodíky či čistý ethanol. S těmito příměsemi se pohonné hmoty dají skladovat déle.

V případě přídavku FAME dochází ke snadnější oxidaci z toho důvodu, že se jedná o estery mastných kyselin, kdy při výrobě mohou v aditivu zůstat volné mastné kyseliny nebo monoglyceridy. Oxidační stabilita rapidně klesá a zásadní vliv na zlepšení nemají ani přídavky antioxidantů. [17]

V plánu experimentální části práce je proměřit dielektrické vlastnosti nezdegenerovaných paliv tak, aby výsledky nebyly ovlivněny právě vlivem oxidace. Měřit by se měly základní dielektrické vlastnosti, tj. permitivita a ztrátový činitel v širokém rozsahu teplot a frekvence. Následně by se mohlo určit, jak moc jsou dobrými dielektrickými kapalinami. V návaznosti na měření nezoxidovaných paliv lze poté uskutečnit i měření po delším časovém úseku, kdy se oxidace projeví. Dle těchto výsledků by se následně dalo určit, o kolik procent se změnily dielektrické vlastnosti vzorků a předpokládat stejnou změnu i u ostatních naftových paliv a biopaliv, jež nebyly součástí měření.

## 1.6 Očekávané výsledky

Očekávané výsledky relativní permitivity pro pohonné hmoty na bázi nafty a bionafty se mezi sebou budou mírně lišit podle podílu přidané biosložky a dalších aditiv v palivu. Rostlinné oleje mají hodnotu relativní permitivity v rozmezí  $3 \div 5$ , minerální oleje okolo hodnot  $2 \div 2,4$ . Uvedené hodnoty jsou za pokojových podmínek. Kvůli podobnosti paliv k elektroizolačním palivům můžeme očekávat relativní permitivitu vzorků v rozmezí od 2 do 4. Větší relativní permitivita se vyskytne u vzorků s vyšším podílem biosložky. V našem případě se bude jednat zejména o vzorek z cisterny, kde je aditivum čistě složka FAME. Dle závěrečné práce [18] by hodnota relativní permitivity

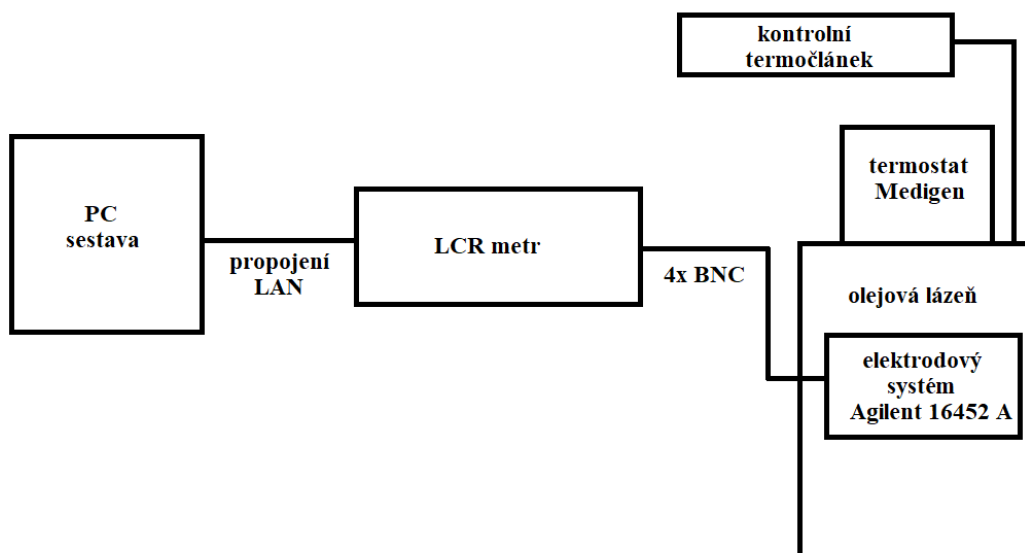
MEŘO měla být kolem 3,3. Další přísady v naftě, přidávané za účelem zlepšit čistící schopnosti motoru atd. budou mít buď velmi malý vliv na výslednou permitivitu, nebo ji budou mírně zvyšovat. Vzhledem k tomu, že se jedná zpravidla o nepolární látky, bude ztrátový činitel dán zejména vlastní vodivostí měřené látky – paliva.

Pro vybrané vzorky paliva, kdy se jedná o čisté složky nafty a kompozice bionafty očekáváme, že s postupem času budou paliva degradovat z důvodu oxidace. Lze však předpokládat, že vzorky s obsahem biosložek budou degradovat rychleji než čistě fosilní nafty. Můžeme usuzovat, že postupnou oxidací paliva se nám relativní permitivita vzorků zvýší (nastane navázání kyslíku na nepolární nebo slabě polární molekuly). Se zvýšenou vlastní vodivostí takto stárnutého paliva by se nám měl zvýšit i ztrátový činitel. Zvýšený ztrátový činitel se nám projeví zejména zvýšenými vodivostními ztrátami.

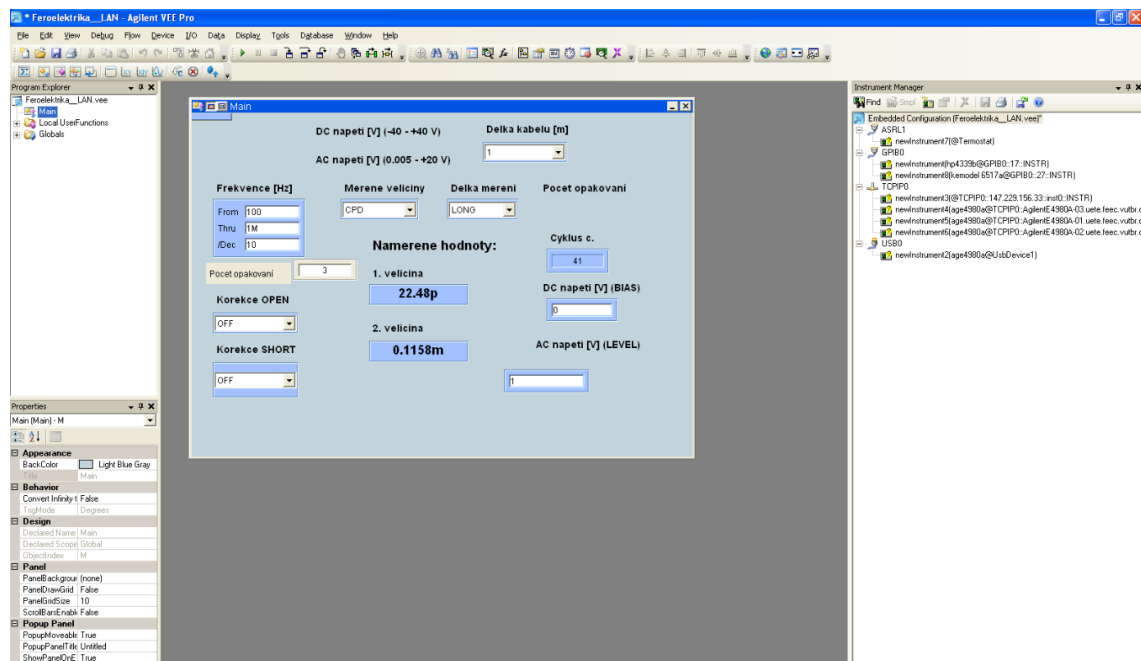
## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

### 2.1 Sestava pro měření

Pracoviště bylo sestaveno v laboratoři na ústavu elektrotechnologie za účelem změření a vyhodnocení dat pro bakalářskou práci. Použité přístroje mimo jiné slouží i pro běžnou výuku. Měření bylo prováděno za pomoci softwaru od firmy Agilent. Jedná se o již sestavený a modifikovaný program Feroelektrika\_LAN – Agilent VEE Pro. Náhled na nastavení programu je na Obr. 2.2. Bylo nastaveno rozmezí měřící frekvence od 10 Hz po 1 MHz a celkem se provedla 3 měření pro každou teplotu. Teplotní rozsah byl nastaven od -20 °C po 100 °C a nastavoval se manuálně na termostatu od firmy Medigen. Pro kontrolu nastavené teploty sloužil termočlánek připevněný pomocí stojanu a byl umístěn na druhém konci od ohřívací trubice olejové lázně. Naměřená data se poté automaticky díky programu psala do tabulkového procesoru Excel. Zde byly poté vyhodnoceny výsledky. Zapojená měřící soustava je vyobrazena v blokovém diagramu na Obr. 2.1. Pro měření byl použit LCR metr E4980A od firmy Agilent s frekvenčním rozsahem od 20 Hz do 300 kHz. V plánu bylo odzkoušet i LCR metr od firmy HAWLETT PACKARD kvůli jeho vyššímu frekvenčnímu rozsahu od 10 Hz do 1 MHz. Po odměření jednoho vzorku se však po domluvě s vedoucím práce od plánu upustilo, neboť přístroj je staršího data výroby a nebyl zřejmě zkalibrován. Uváděl zavádějící hodnoty. Z toho důvodu se měření dále provádělo na LCR metru od firmy Agilent. I když byl programem nastaven daný rozsah proměřované frekvence, bylo měření omezeno právě rozsahem LCR metru.



Obr. 2.1: Blokové schéma měřícího pracoviště



Obr. 2.2: Ilustrační náhled na nastavení programu Feroelektrika\_LAN – Agilent VEE

## 2.2 Průběh měření

### 2.2.1 Měření vzorky

- vzorek 18-74692 B+FAME
- vzorek 18-82229 D+FAME
- vzorek 18-95813 F+FAME
- vzorek 18-77032 D-NOBF
- vzorek 18-95110 F-NOBF
- vzorek z cisterny (FAME)
- OMV Diesel
- SHELL Diesel
- MOL EVO Diesel

Vzorky s číselným označením jsou dodané od skupiny Unipetrol, stejně tak vzorek z cisterny. Jedná se o firemní označení a jde o prvních 5 vzorků. U zbylých vzorků je výrobce uveden přímo.

Písmena B, D a F určují, jaká je filtrovatelnost motorové nafty v závislosti na klimatických podmínkách (viz Tab. 2.1). Tabulka platí pro mírný pás. Zkratka FAME (*Fatty acid methyl ester*) představuje methylester řepkového oleje neboli zkráceně MEŘO. Přidavku FAME se do nafty přidává maximálně 7 %. Zkratka NOBF je benfluron



N-oxide s chemickým vzorcem  $C_{21}H_{19}NO_3$ . Tyto chemické látky jsou biosložky, které se používají jako aditivum. [19] [20]

Tab. 2.1: Rozdělení motorových naft podle filtrovatelnosti v závislosti na ročním období

Roční období	Distribuce	Filtrovatelnost	Třída
letní	15.04. - 30.09.	do 0 °C	B
přechodová	01.10. - 15.11.	do -10 °C	D
zimní	16.11. - 28.02.	do -20 °C	F
přechodová	01.03. - 14.04.	do -10 °C	D

### 2.2.2 Postup měření

Před vlastním měřením byl detailně prostudován manuál k elektrodovému systému Agilent 16452A a k měřicímu LCR metru. Při veškerých měřeních byl kladen důraz zejména na reprodukovatelnost měření, které vyžadovalo přesnou měřicí proceduru a současně uvedení systému po každém měření do stejného výchozího stavu. Před každým použitím byl tedy elektrodový systém rozložen, řádně vyčištěn pomocí isopropylalkoholu a vysušen laboratorní papírovou utěrkou. Poté byl systém ještě osušen pomocí stlačeného vzduchu, čímž byly ze spár vzduchem vytlačeny zbytky isopropylalkoholu a vzhledem k těkavosti isopropylalkoholu byl systém opět důkladně vysušen papírovou utěrkou.

Tab. 2.2: Naměřené hodnoty geometrické kapacity uvnitř elektrodového systému

Číslo měření	LCR metr Agilent C [F]
1	1,0507E-11
2	1,0510E-11
3	1,0512E-11
4	1,0502E-11
5	1,0505E-11
Výsledný průměr	1,0507E-11

Před zahájením vlastního měření byla změřena geometrická kapacita elektrodového systému v případě zaplnění systému vzduchem (uvažovaná permitivita vzduchu  $\epsilon_r = 1,00054$  při standardním tlaku a teplotě), která poté sloužila k výpočtu permitivity měřených vzorků. Geometrická kapacita byla na začátku změřena vícekrát

a po každém měření byl elektrodový systém rozdělán a poté opět složen pro další měření. Tyto pokusy sloužily ke zjištění průměrné geometrické kapacity a k eliminaci náhodné chyby vyplývající např. z rozdílného dotažení šroubů elektrodového systému. Naměřené hodnoty geometrických kapacit jsou zapsány v Tab. 2.2.

Měřeno bylo pro celý frekvenční rozsah LCR metru a poté byly výsledky zprůměrovány. Výsledný průměr geometrické kapacity byl tímto způsobem stanoven na  $C_0 = 1,0507 \cdot 10^{-11}$  F. Výsledky prokázaly, že odchylka je minimální a téměř nezaznamenanatelná.

Každý vzorek byl před měřením důkladně promíchán, aby se možné usazené částice dostaly do celého objemu a byly obsaženy i při odebírání do injekční stříkačky, kterou se vzorek vstříkoval do elektrodového systému. Vstřikované množství bylo v objemu 7 – 10 ml. To zajistilo zaplnění celého prostoru systému. Manuálním pohybem systému se měřený vzorek uvnitř rozlil v celém objemu systému a vytlačil všechny vzduch, který by zapříčinil chybné měření. Na jeho otvory byly taktéž přidělané průhledné hadičky, aby se po ponoření systému do olejové lázně nedostal olej do vzorku a měření nebylo znehodnoceno. Samotný elektrodový systém byl poté čtyřmi BNC konektory připojen na LCR metr. Dva konektory byly napěťové a dva proudové, zapojené do kříže. Jedná se o tzv. Kelvinovo zapojení. Tato metoda čtyřbodového měření je efektivní pro eliminaci vnitřních odporů konektorů.

Před ponořením do olejové lázně byla nastavena startovací teplota – 20 °C. Tato teplota se nechala 15 minut pro ustálení v celém objemu. Systém se poté umístil do lázně a byl přidán kontrolní termočlánek v blízkosti systému. Po změření a zaznamenání hodnot měření byla nastavena další proměřovaná teplota. Opět se vyčkalo 15 minut na ustálení teploty v celém objemu. Teplota se nastavovala s krokem po 10 °C až do poslední proměřované, která byla 100 °C. Systém v lázni byl přiklopen krytem a ubrousky pro minimalizaci tepelných ztrát do okolí.

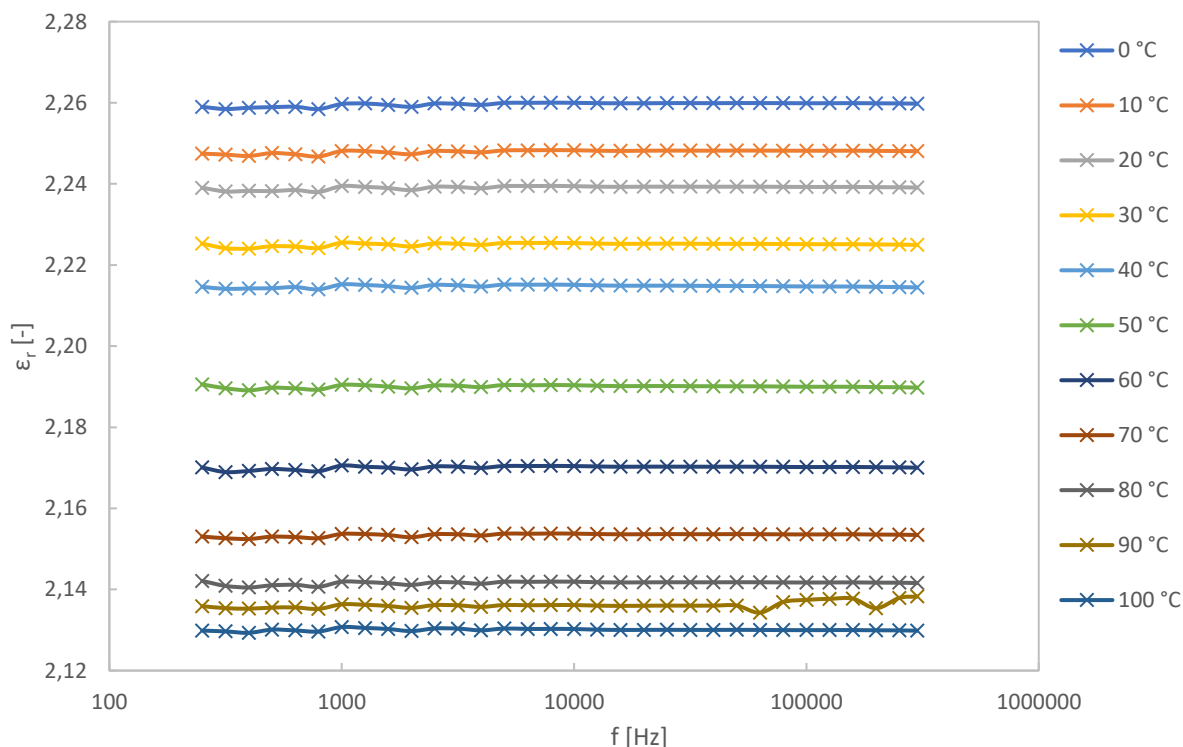
Prvním měřeným vzorkem byl OMV Diesel. Na tomto vzorku se provedla čtyři měření, při kterých se optimalizovala reprodukovatelnost naměřených výsledků. Nejdříve se měřilo v teplotním rozsahu od 0 °C do 100 °C a frekvenčním rozsahu od 100 Hz do 0,3 MHz. Výsledná měření byla stanovena v teplotním rozsahu od – 20 °C do 100 °C a ve frekvenčním rozsahu nastaveném v programu od 10 Hz do 1 MHz, ovšem tohle nastavení bylo omezeno měřícím rozsahem LCR metru na měření od 25 Hz do 300 kHz.

Z naměřených dat kapacity vzorků a geometrické kapacity byly poté v tabulkovém procesoru Excel vypočteny hodnoty permitivity dle vztahu (6), ztrátový činitel byl měřen přímo LCR metrem. Byly vytvořeny grafy závislosti permitivity na frekvenci při změně teploty a grafy závislosti ztrátového činitele na frekvenci při změně teploty.

### 2.2.3 Optimalizace měřicí procedury

Optimalizace pro zajištění reprodukovatelnosti měření všech vzorků probíhala na vzorku OMV Diesel, kdy proběhla 4 na sobě nezávislá měření.

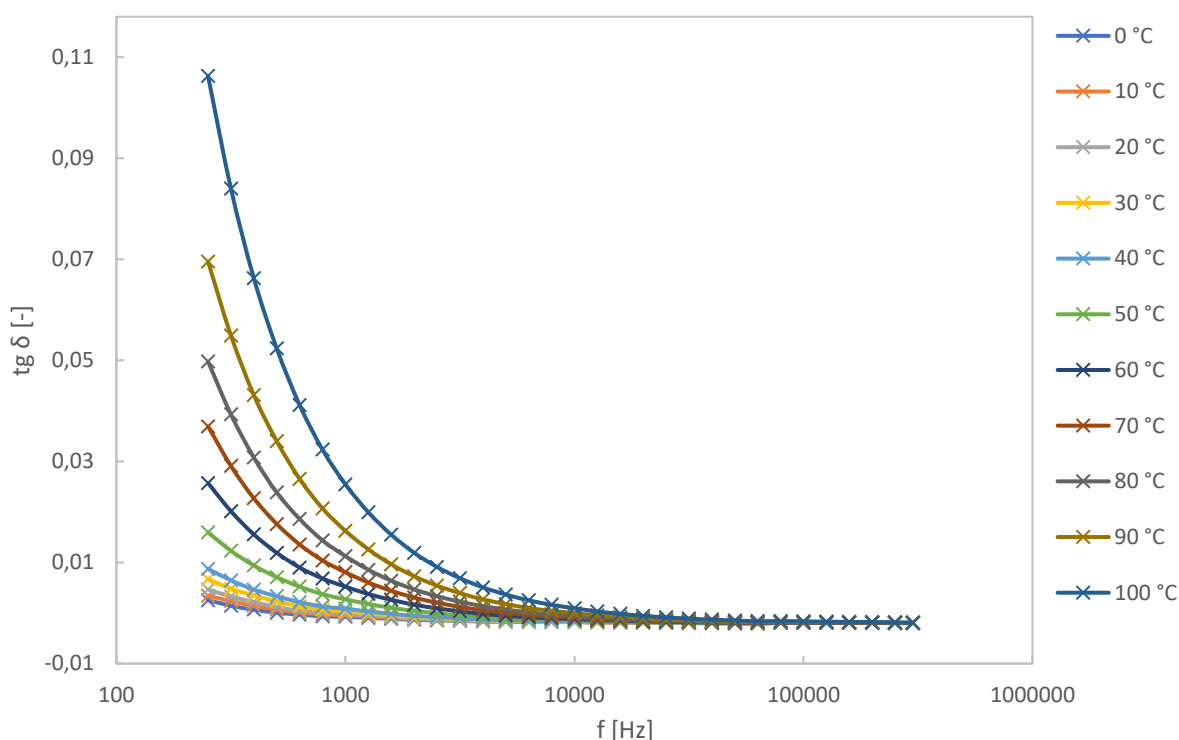
První měření probíhalo v rozmezí teplot od 0 °C do 100 °C a doba pro ustálení teploty v celém objemu olejové lázně byla stanovena přibližně na 7 až 10 minut. Výsledky tohoto prvního „zkušebního“ měření jsou vyobrazeny v následujících dvou grafech.



Obr. 2.3: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě pro první měření vzorku OMV

Na Obr. 2.3 je vyobrazena frekvenční závislost relativní permitivity pro jednotlivé teploty. Lze na něm vidět nerovnoměrný posun permitivity od 40 °C do 70 °C. Při 40 °C a při frekvenci 1 kHz je relativní permitivita rovna hodnotě 2,21, při stejné frekvenci a při 50 °C je rovna 2,19, pro 60 °C  $\epsilon_r = 2,17$  a pro 70 °C  $\epsilon_r = 2,15$ . Jde o posun v řádu dvou setin, přičemž u ostatních teplot je přechod pouze o jednu setinu. To je právě nejspíše způsobeno nedostatečným a rozdílným časovým intervalem pro ustálení teploty olejové lázně v celém objemu a tím pádem nepřesné teplotě měřící cely při měření. U tohoto měření ještě nebyl použit kontrolní termočlánek teploty.

Na Obr. 2.4 je vyobrazeno měření ztrátového činitele při stejném frekvenčním rozsahu i stejných proměřovaných teplotách. Toto měření se jeví v pořádku, ale po zvážení chyby u relativní permitivity se usoudilo, že hodnoty mohou být nesprávné ze stejného důvodu, a to nerovnoměrně rozložené teploty během měření.

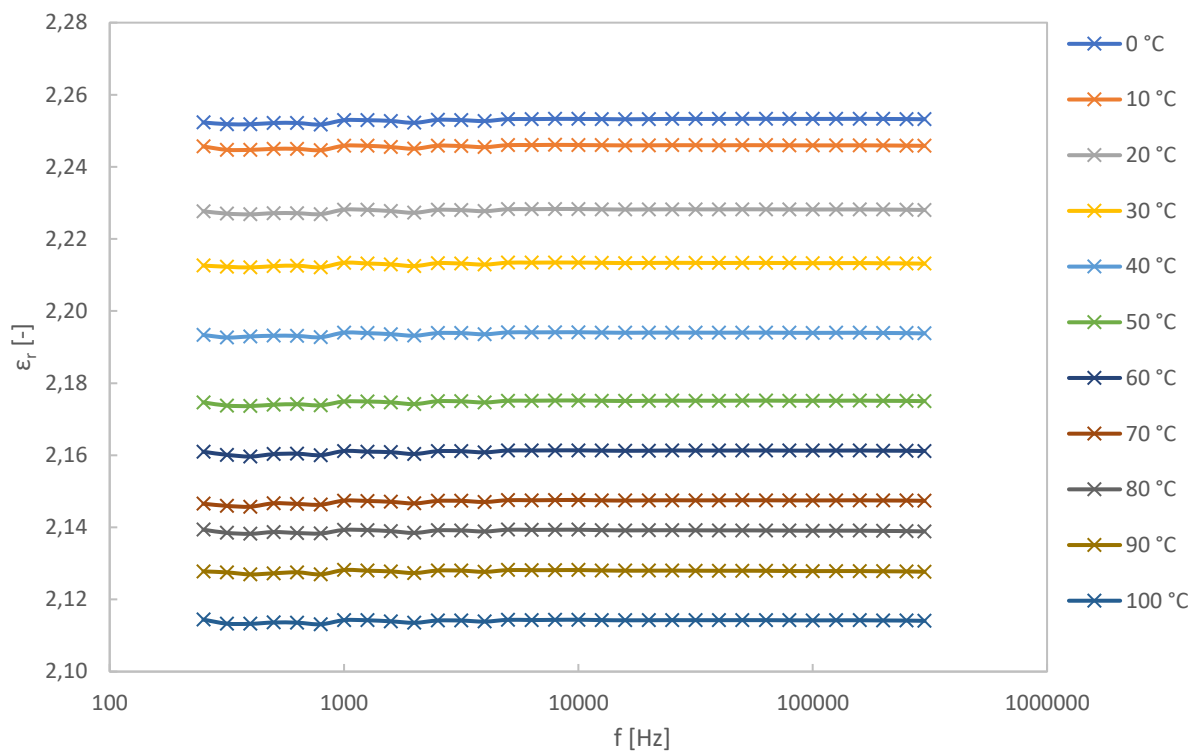


Obr. 2.4: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě pro první měření vzorku OMV

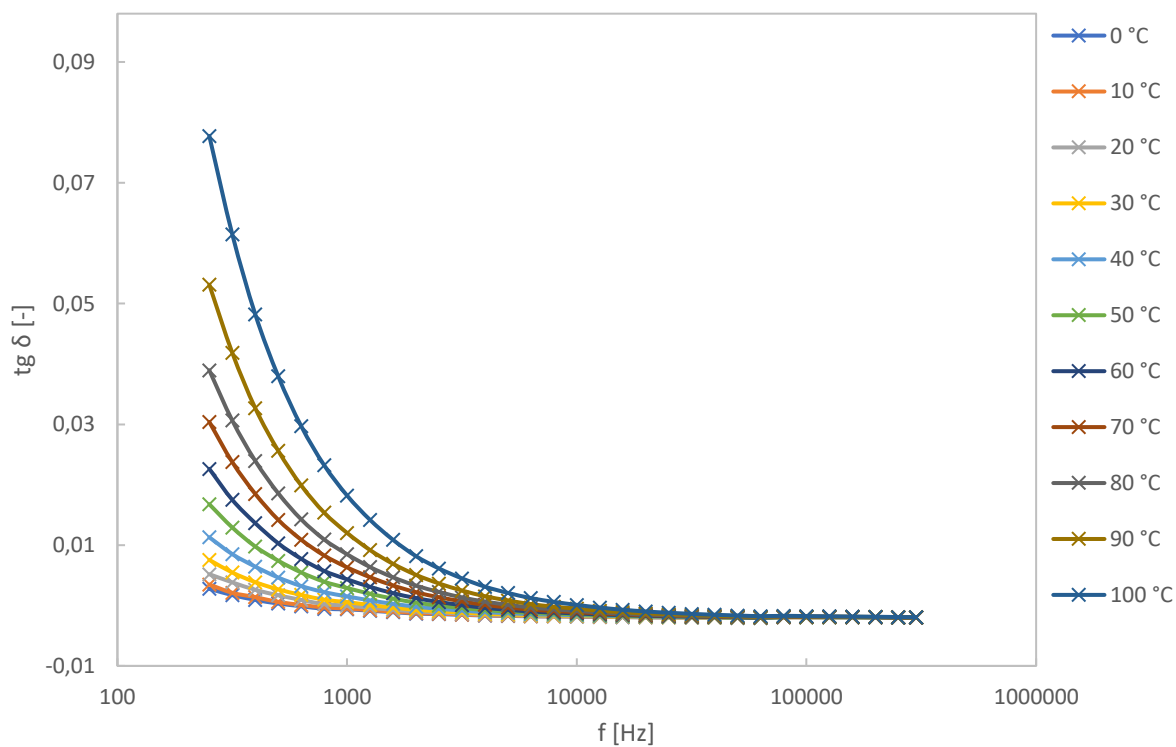
Následovalo tedy druhé měření, kdy rozsah frekvence i teploty zůstal stejný, pouze se zvýšil časový interval pro ustálení teploty na 15 minut. Na Obr. 2.5 je vyobrazena frekvenční závislost relativní permitivity, kde je vidět daleko pravidelnější přechod mezi jednotlivými teplotami. Rovněž se pozměnila hodnota relativní permitivity pro teploty, jejichž ustálení bylo po delší dobu než při prvním měření. Změna byla maximálně o jednu nebo dvě setiny hodnoty od prvotního měření.

Taktéž se pozměnila hodnota ztrátového činitele při nižší frekvenci. Při prvním měření byla hodnota ztrátového činitele při frekvenci 250 Hz a při teplotě 100 °C rovna 0,1. U druhého měření, při stejných měřicích hodnotách, byla hodnota ztrátového činitele rovna 0,08. Při delší ustalovací době teploty nám tedy ztrátový činitel lehce poklesl. Pro teplotu 100 °C a frekvenci 1 kHz byla hodnota ztrátového činitele při prvním měření rovna 0,027, při druhém měření za stejných podmínek byla hodnota ztrátového činitele rovna 0,020.

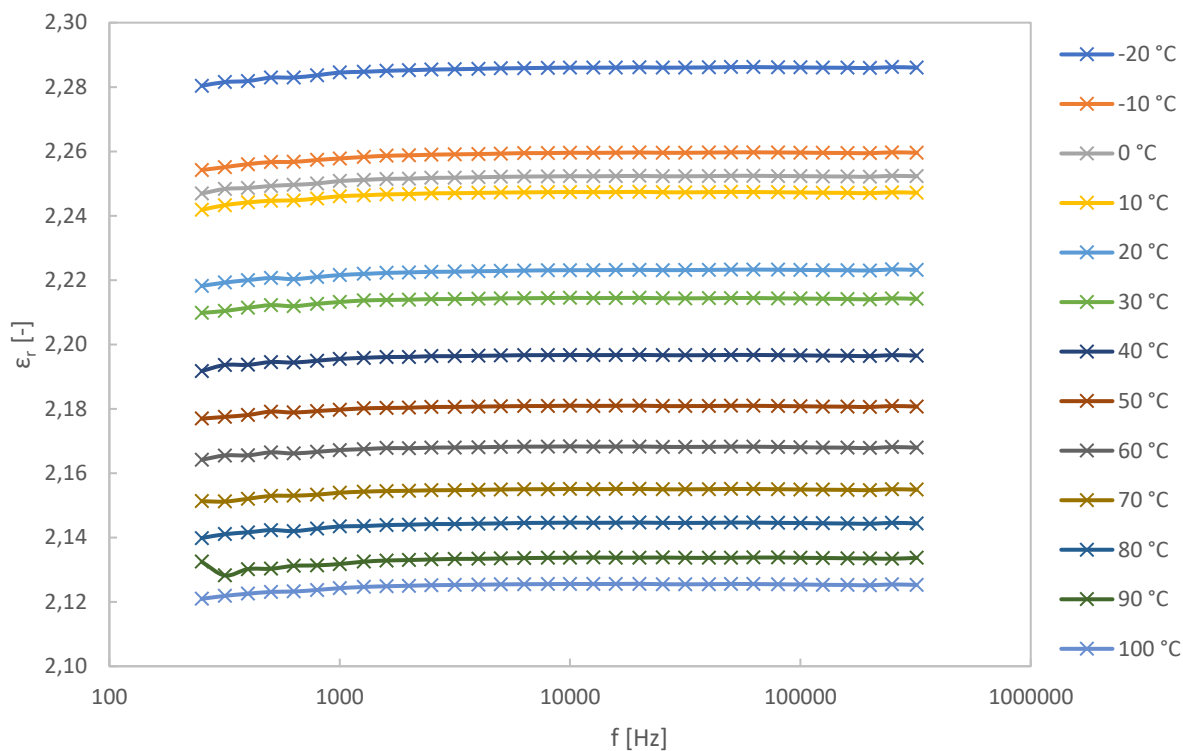
U třetího měření se zvýšil teplotní rozsah od – 20 °C do 100 °C, frekvenční rozsah zůstal neměnný. U tohoto měření byl již zařazen kontrolní termočlánek. Časový interval pro ustálení teploty v celém objemu olejové lázně byl stanoven v rozmezí od 15 do 20 minut.



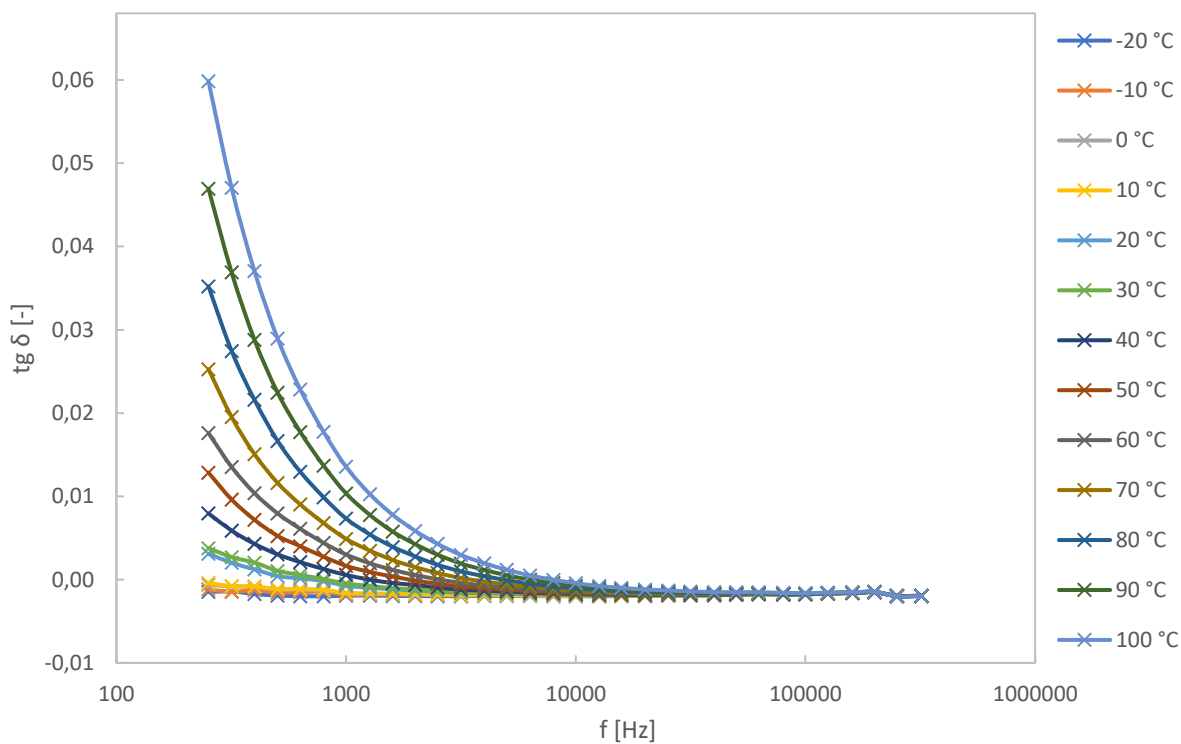
Obr. 2.5: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě pro druhé měření vzorku OMV



Obr. 2.6: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě pro druhé měření vzorku OMV



Obr. 2.7: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě pro třetí měření vzorku OMV



Obr. 2.8: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě pro třetí měření vzorku OMV

U tohoto třetího měření si můžeme povšimnout mírného skoku relativní permitivity při přechodu od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tyto mírné skoky se drží až do  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a budou s největší pravděpodobností způsobeny vzniklou námrazou vlhkosti uvnitř vzorku. Taktéž nám poklesla hodnota ztrátového činitele v porovnání s předchozími měřeními. Při frekvenci  $1\text{ kHz}$  a teplotě  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  je tato hodnota rovna  $0,015$ , což je o  $0,005$  méně než při předchozím měření. Za tento pokles může s jistou pravděpodobností i fakt, že není známa třída filtrovatelnosti vzorku OMV, tudíž že při měření při  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  došlo k jistým fyzikálním či chemickým změnám uvnitř vzorku, které způsobily tento pokles v celém teplotním rozsahu. Metoda měření byla při třetím pokusu již pevně dána. Provedlo se tedy čtvrté měření, které mělo pouze ověřit přesnost naměřených hodnot a aby bylo možné říci, že metoda měření je správná. Naměřené výsledky tohoto čtvrtého měření prokázaly, že hodnoty relativní permitivity jsou rovné na setiny. Totéž platí pro ztrátový činitel, který se lišil jen nevýrazně v celém frekvenčním rozsahu pro všechny teploty. Tímto byla tedy zajištěna stabilní měřicí procedura, která byla poté aplikována na ostatní vzorky.

## 2.2.4 Vyhodnocení výsledků

V práci byla proměřena závislost relativní permitivity a ztrátového činitele při změnách teploty a frekvence. Každý vzorek byl změřen samostatně a následně vyhodnocen. Dosažené výsledky jsou graficky interpretovány dle následujícího pořadí uvedeném v Tab. 2.3.

Tab. 2.3: Souhrnný seznam výsledných grafů pro jednotlivé vzorky

Vzorek	Frekvenční závislost permitivity	Frekvenční závislost ztrátového činitele
18-74692 B+FAME	Obr. 2.9	Obr. 2.10
18-77032 D-NOBF	Obr. 2.11	Obr. 2.12
18-95110 F-NOBF	Obr. 2.13	Obr. 2.14
cisterna (FAME)	Obr. 2.15	Obr. 2.16
18-82229 D+FAME	Obr. 2.17	Obr. 2.18
18-95813 F+FAME	Obr. 2.19	Obr. 2.20
OMV Diesel	Obr. 2.21	Obr. 2.22
SHELL Diesel	Obr. 2.23	Obr. 2.24
MOL EVO Diesel	Obr. 2.25	Obr. 2.26

Pro všechny vzorky je totožný trend, kdy největší hodnotu relativní permitivity mají při  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a nejmenší při  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při malých frekvencích se vyskytuje určitý rozkmit, který se přibližně při  $250\text{ Hz}$  ustálí a průběh zůstává neměnný až do konce proměřované frekvence. Z tohoto důvodu uvedené grafy zobrazují hodnoty až po ustálení hodnot relativní permitivity, tzn. od frekvence  $250\text{ Hz}$ . Se zvyšováním teploty o  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

dochází ke snižování relativní permitivity o jednu až dvě setiny. Při změnách teploty od  $-20\text{ °C}$  do  $10$  až  $20\text{ °C}$  není tento krok změny tak pravidelný jako při přechodu hodnoty permitivity u vyšších teplot. To může být zapříčiněno možnou vznikající námrazou vlhkosti, která se v palivech vyskytuje. Výsledky měření permitivity shrnuje Tab. 2.4. V této tabulce jsou uvedeny hodnoty všech vzorků pro vybrané teploty při frekvenci  $1\text{ kHz}$ .

Podobný trend ustálení platí i pro ztrátový činitel, který se ustálí kolem kmitočtu  $10\text{ kHz}$  a zůstává téměř neměnný až do konce proměřované frekvence. Z naměřených výsledků můžeme konstatovat, že tyto vzorky paliv by byly relativně dobré elektroizolační materiály, avšak pouze při velmi nízkých teplotách, kdy se hodnoty pohybují v řádu  $\times 10^{-4}$ . Z praktického hlediska by to nemělo valný význam, protože elektrická energie, přesněji řečeno elektrický proud při průchodu vodičem vždy vyzařuje určité teplo (Jouleovo teplo), které by neustále teplotu paliva zahříval. Navíc palivo jako takové slouží pro úplně jiný účel než jako elektroizolační materiál, pro které se hodí lepší a kvalitnější materiály a kapaliny jak z ekonomického hlediska, tak z elektroizolačního. U vzorků se objevují především složky vodivostních ztrát, polarizační se téměř nevyskytují. Z tohoto faktu můžeme usoudit, že se jedná o nepolární kapaliny či velmi slabě polární. Výsledky měření ztrátového činitele shrnuje Tab. 2.5, kde jsou uvedeny hodnoty všech vzorků pro vybrané teploty. Shrnutí je sjednoceno pro frekvenci  $1\text{ kHz}$ .

Nejvyšší hodnotu relativní permitivity má vzorek z cisterny (čistý FAME) a to pro celý teplotní rozsah. Nejmenší hodnotu relativní permitivity mají vzorky 18-77032 a 18-95110.

Tab. 2.4: Shrnutí naměřených hodnot relativní permitivity pro vybrané teploty

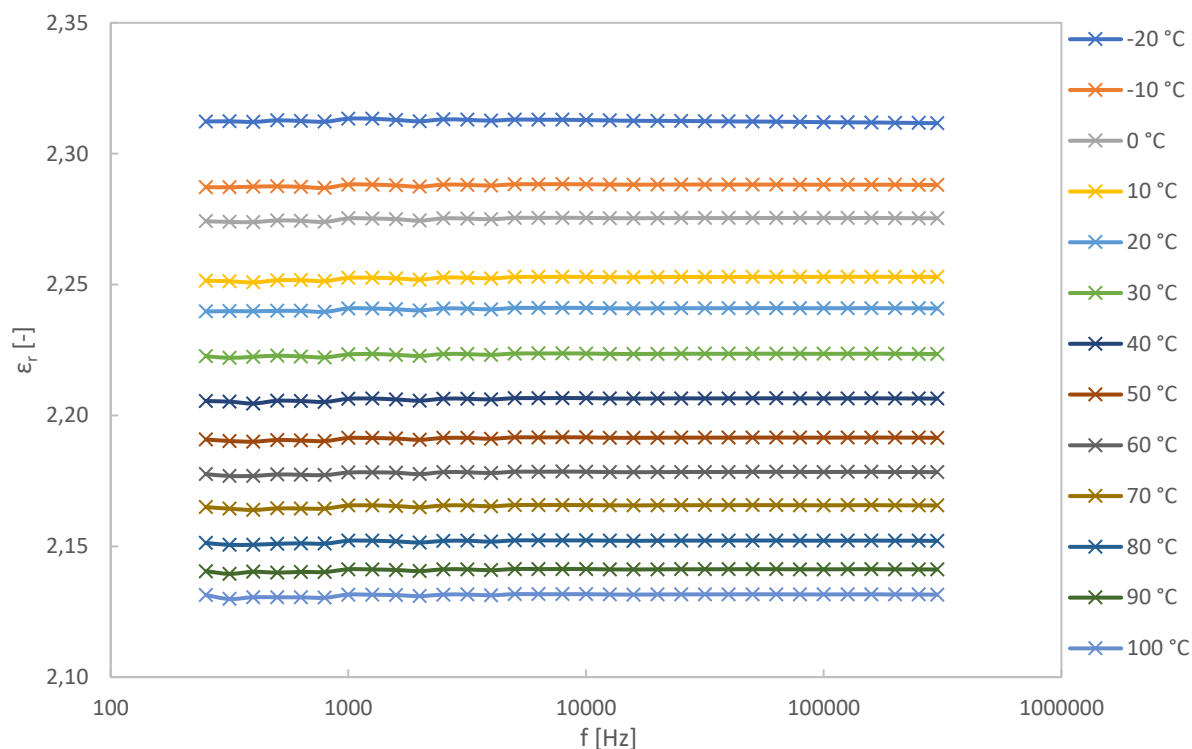
$\epsilon_r [-]$	teplota (při $1\text{ kHz}$ )					
vzorek	$-20\text{ °C}$	$0\text{ °C}$	$20\text{ °C}$	$50\text{ °C}$	$70\text{ °C}$	$100\text{ °C}$
18-74692 B	2,31	2,27	2,24	2,19	2,16	2,13
18-77032 D	2,23	2,19	2,17	2,13	2,11	2,08
18-95110 F	2,23	2,20	2,17	2,13	2,11	2,08
cisterna	3,49	3,37	3,24	3,07	2,98	2,86
18-82229 D	2,31	2,27	2,24	2,19	2,16	2,13
18-95813 F	2,31	2,28	2,24	2,19	2,16	2,13
OMV Diesel	2,28	2,25	2,22	2,17	2,15	2,12
SHELL Diesel	2,31	2,27	2,23	2,19	2,16	2,13
MOL EVO Diesel	2,31	2,27	2,24	2,19	2,16	2,13



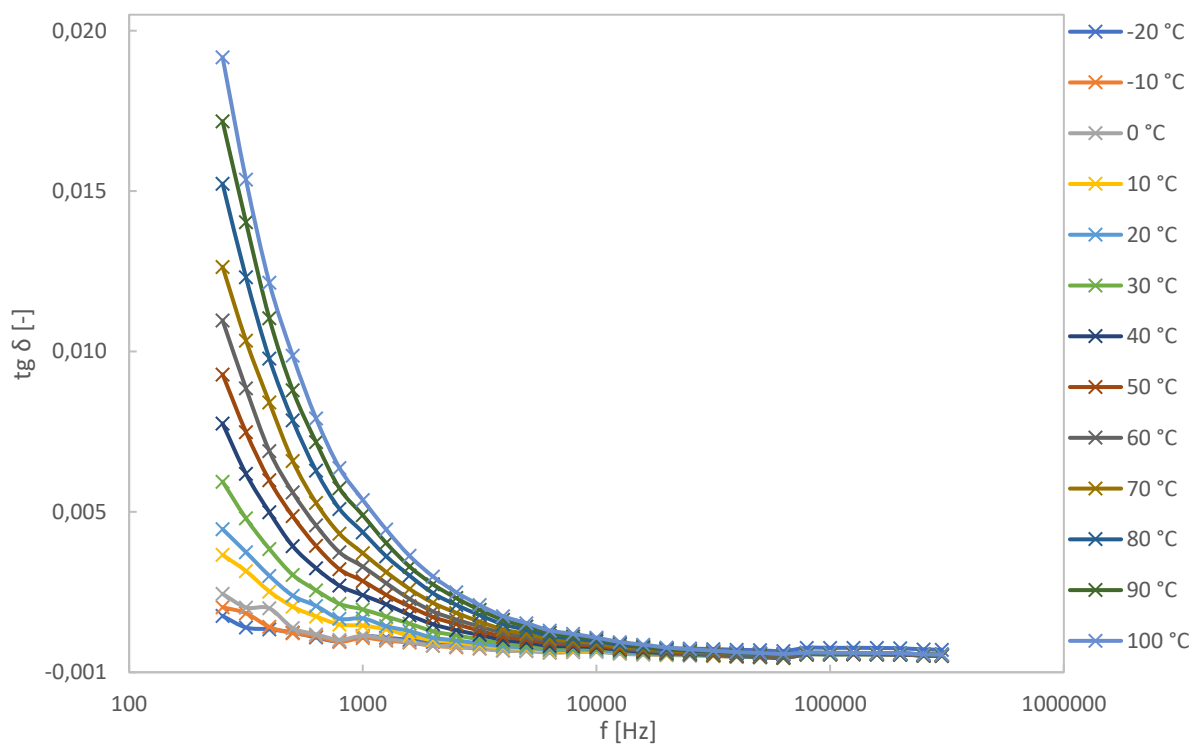
Tab. 2.5: Shrnutí naměřených hodnot ztrátového činitele pro vybrané teploty

<b>tgδ [-]</b>	<b>teplota (při 1 kHz)</b>					
<b>vzorek</b>	<b>– 20 °C</b>	<b>0 °C</b>	<b>20 °C</b>	<b>50 °C</b>	<b>70 °C</b>	<b>100 °C</b>
18-74692 B	6,29E-04	6,39E-04	1,18E-03	2,34E-03	3,21E-03	4,87E-03
18-77032 D	2,37E-04	3,02E-04	4,20E-04	7,88E-04	1,16E-03	1,95E-03
18-95110 F	1,87E-05	7,31E-04	2,61E-03	8,68E-03	1,31E-02	1,91E-02
cisterna	3,48E-03	3,81E-04	1,71E-04	3,17E-03	7,26E-03	2,29E-02
18-82229 D	5,89E-04	8,90E-04	1,75E-03	3,55E-03	4,93E-03	6,53E-03
18-95813 F	4,28E-04	5,81E-04	2,00E-03	8,77E-03	1,47E-02	2,18E-02
OMV Diesel	4,15E-05	3,17E-04	1,16E-03	3,64E-03	6,92E-03	1,58E-02
SHELL Diesel	1,62E-04	1,87E-03	4,33E-03	1,07E-02	1,83E-02	3,47E-02
MOL EVO Diesel	2,58E-04	5,27E-04	1,53E-03	3,97E-03	6,41E-03	1,36E-02

Vzorek 18-74692 B+FAME

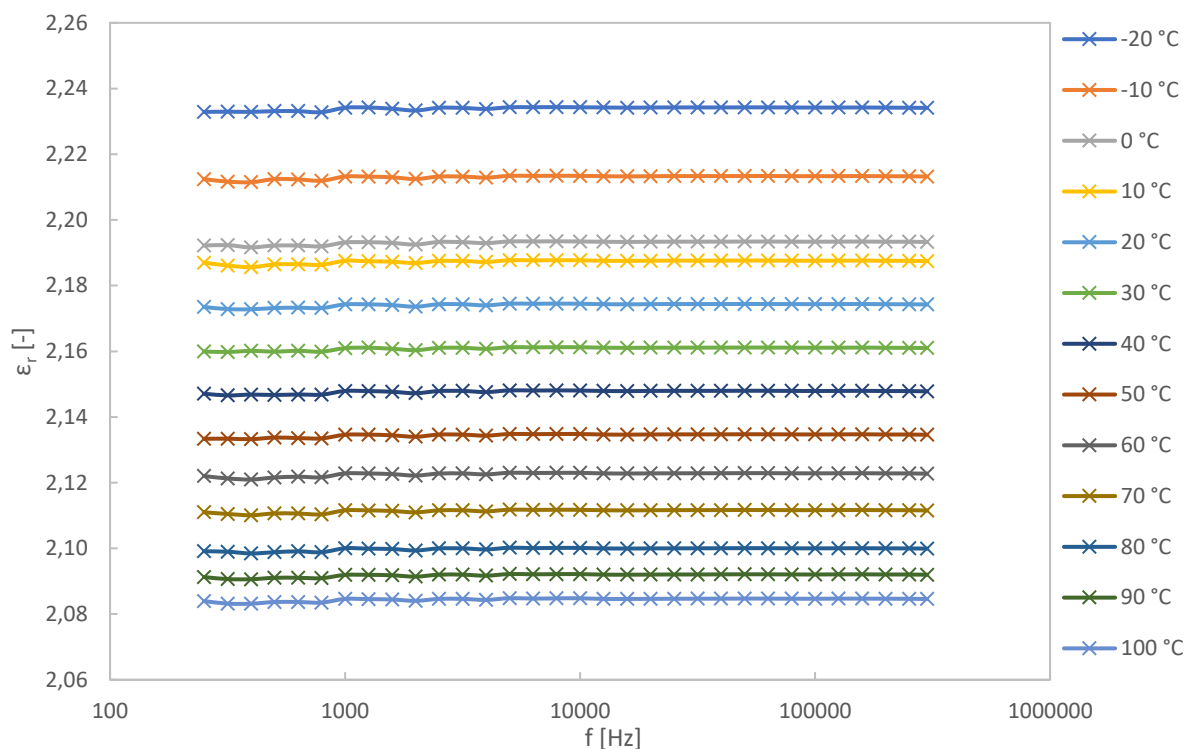


Obr. 2.9: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-74692)

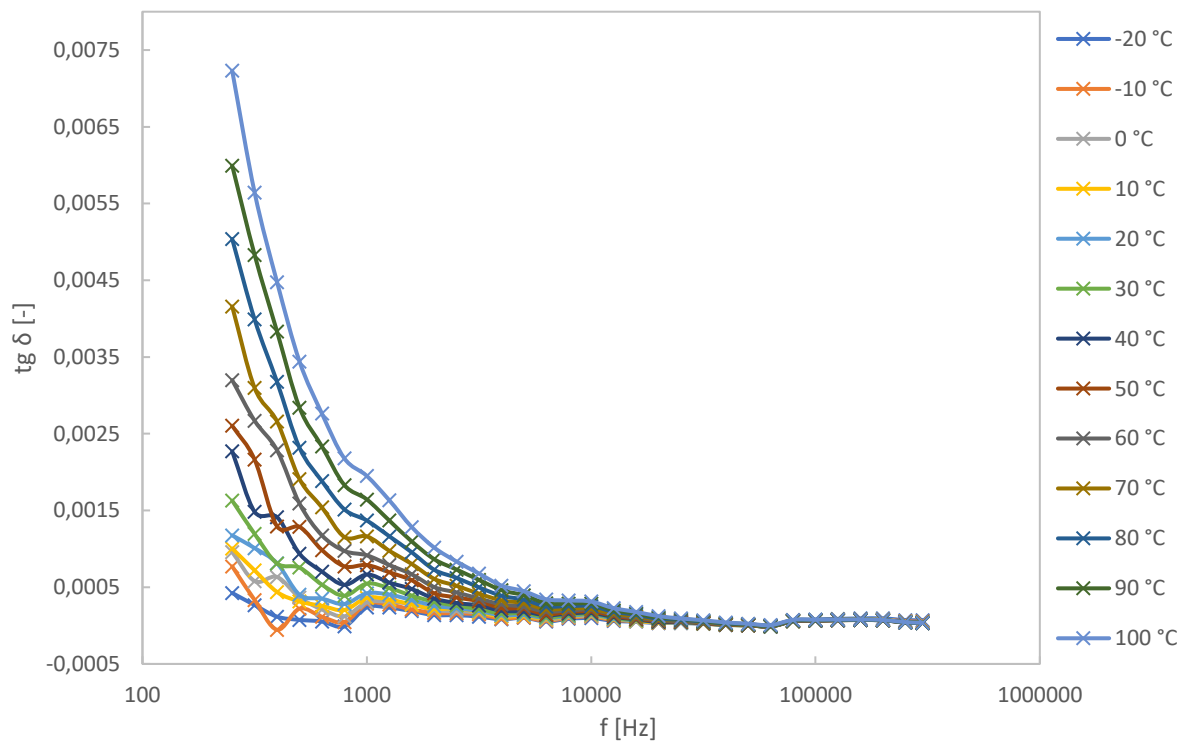


Obr. 2.10: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-74692)

Vzorek 18-77032 D-NOBF

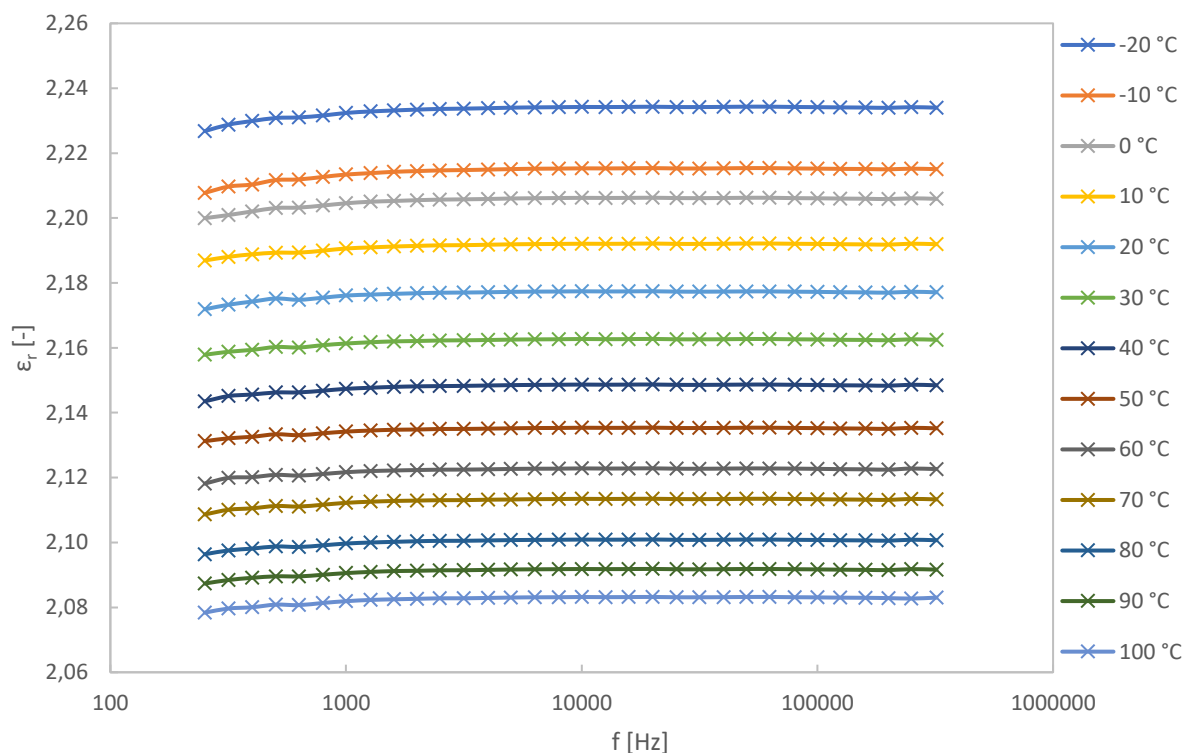


Obr. 2.11: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-77032)

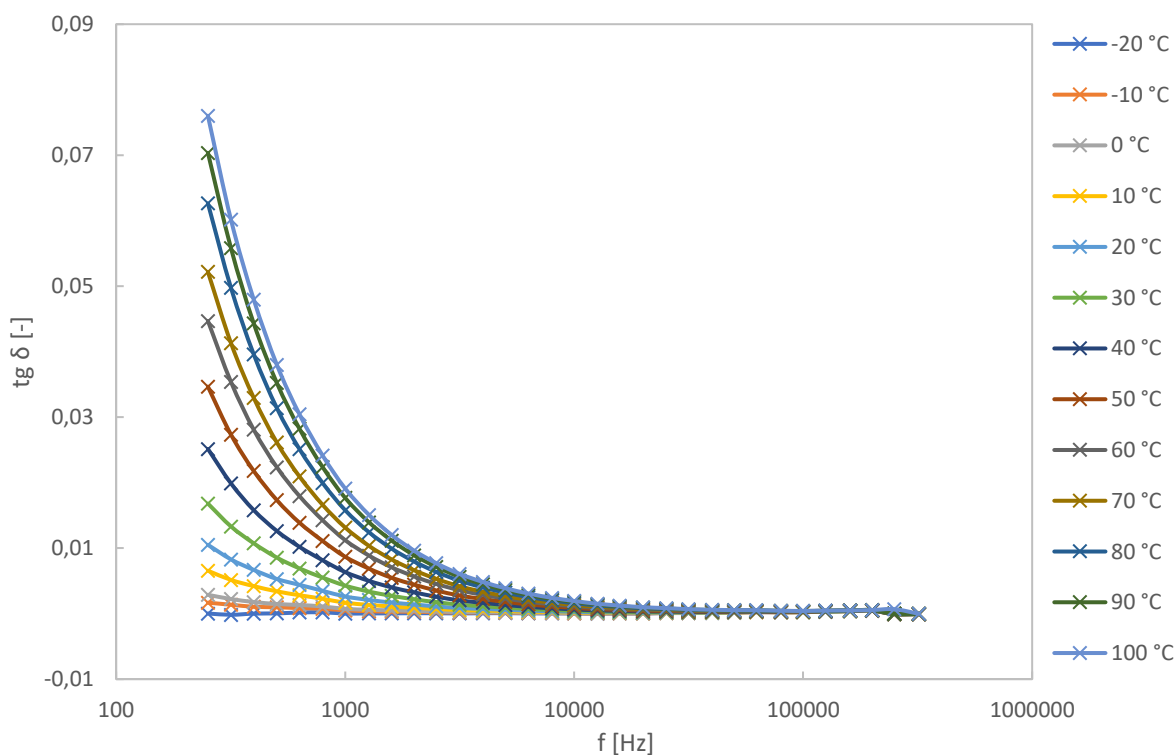


Obr. 2.12: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-77032)

Vzorek 18-95110 F-NOBF

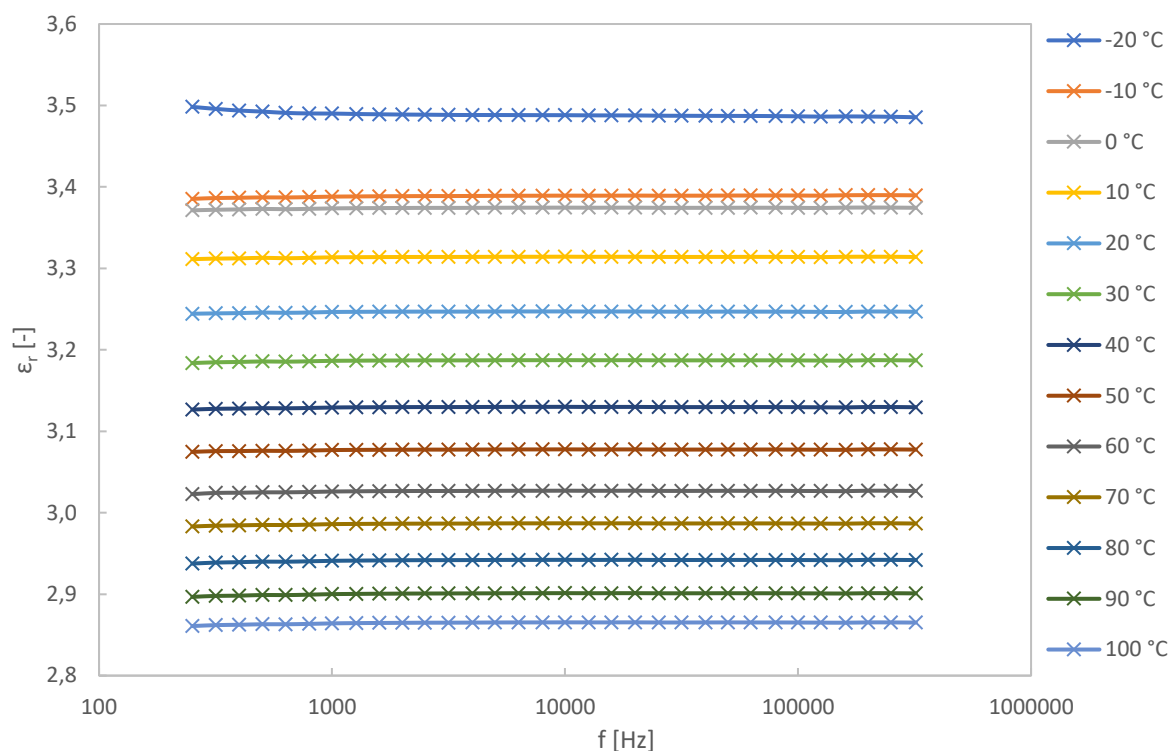


Obr. 2.13: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-95110)

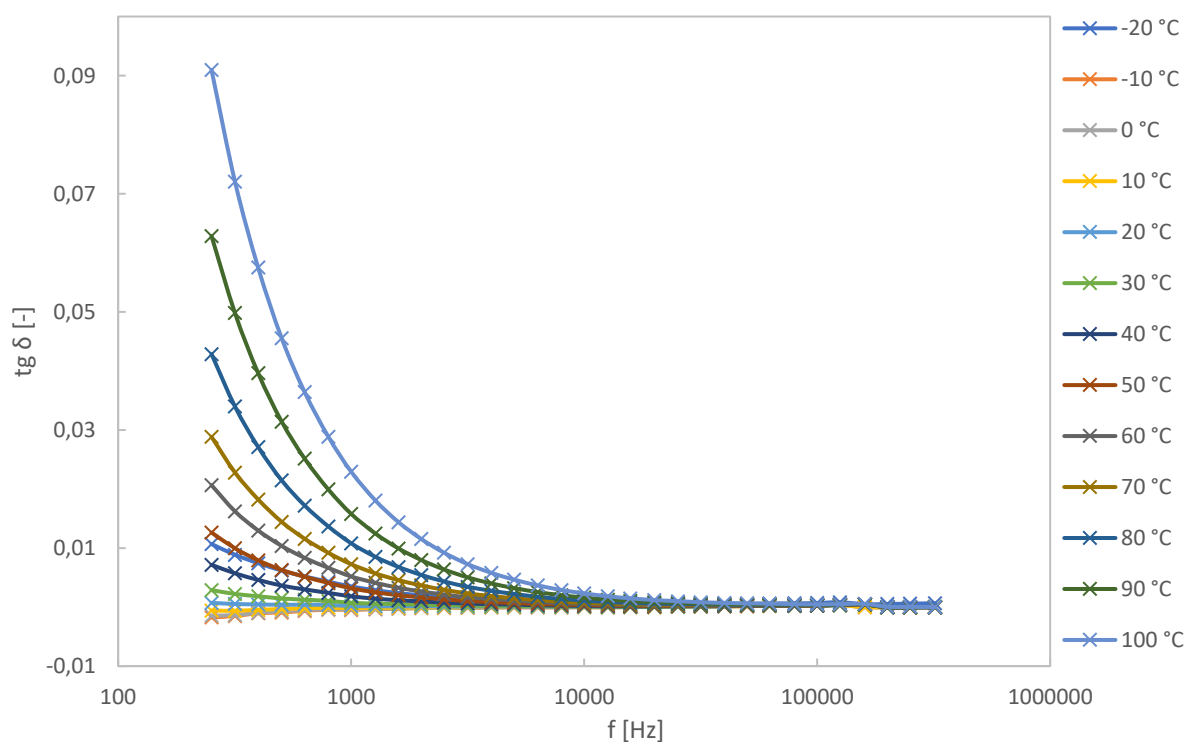


Obr. 2.14: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-95110)

### Vzorek cisterna FAME

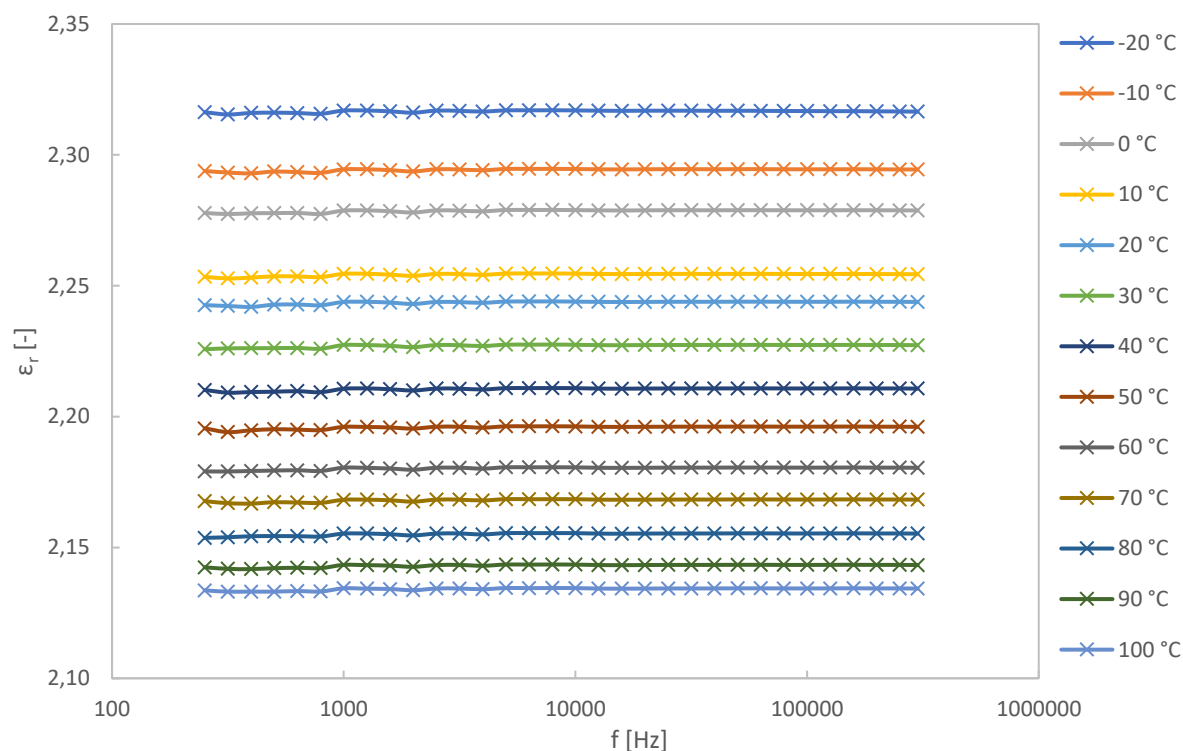


Obr. 2.15: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (cisterna)

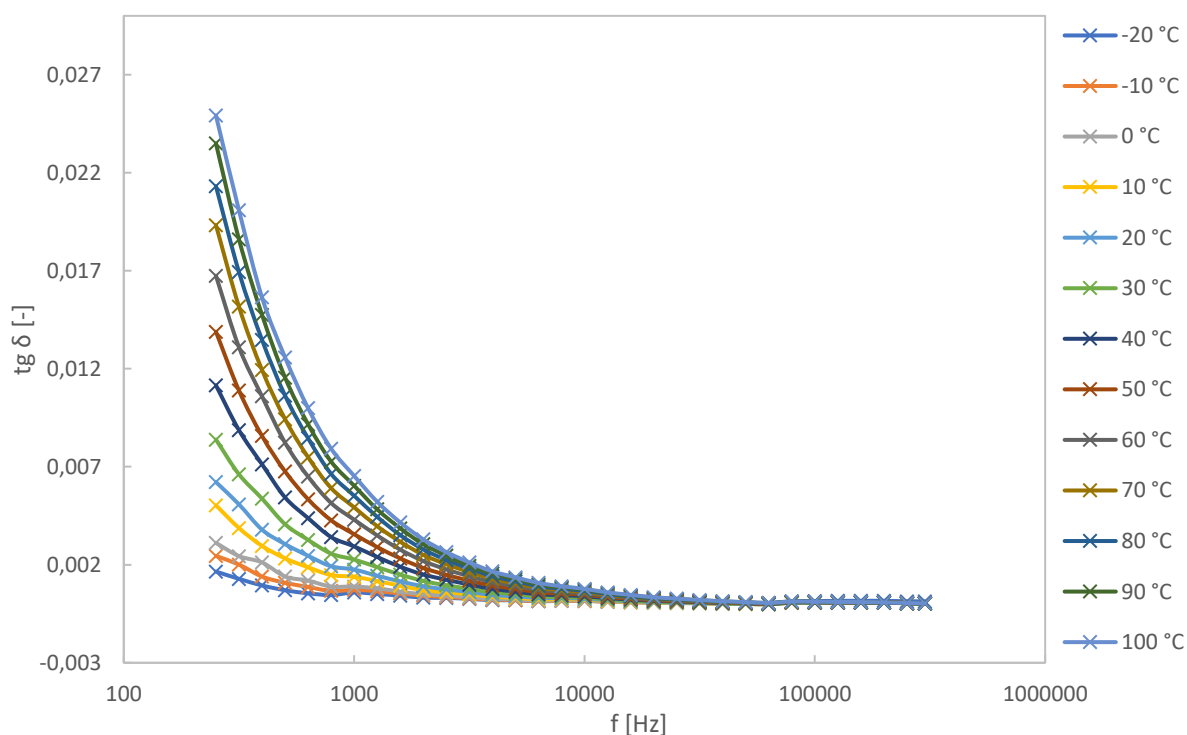


Obr. 2.16: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (cisterna)

Vzorek 18-82229 D+FAME

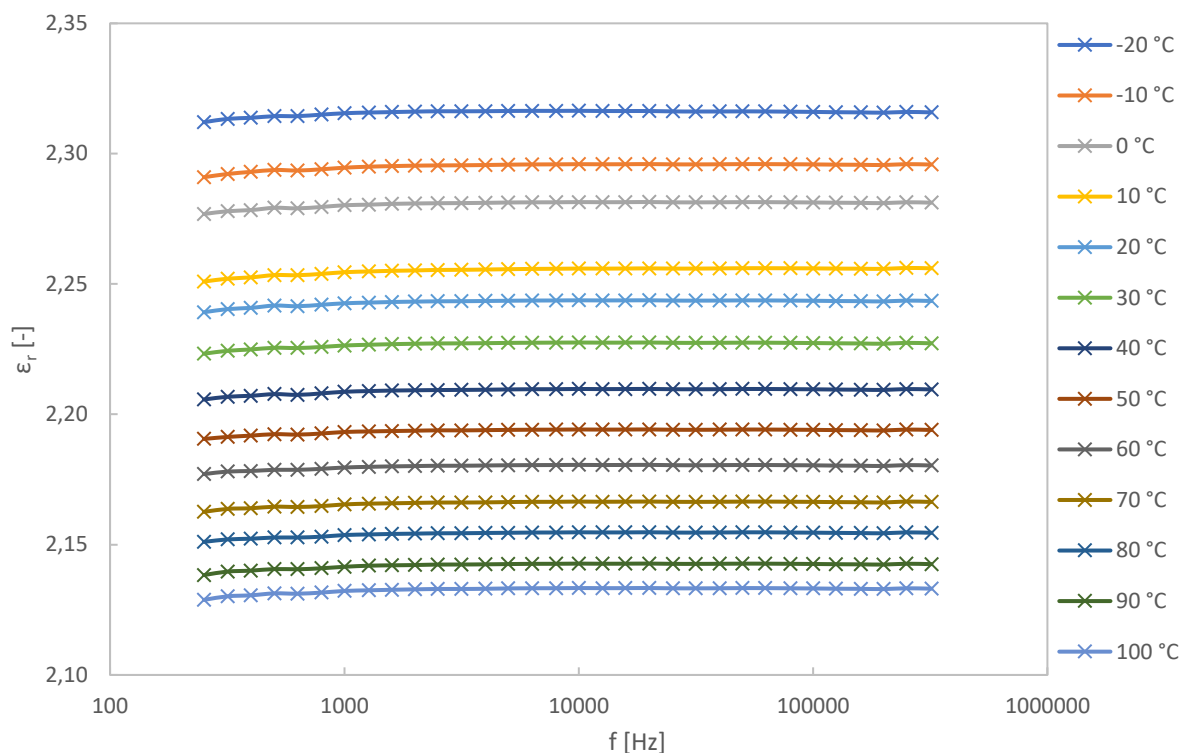


Obr. 2.17: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-82229 D)

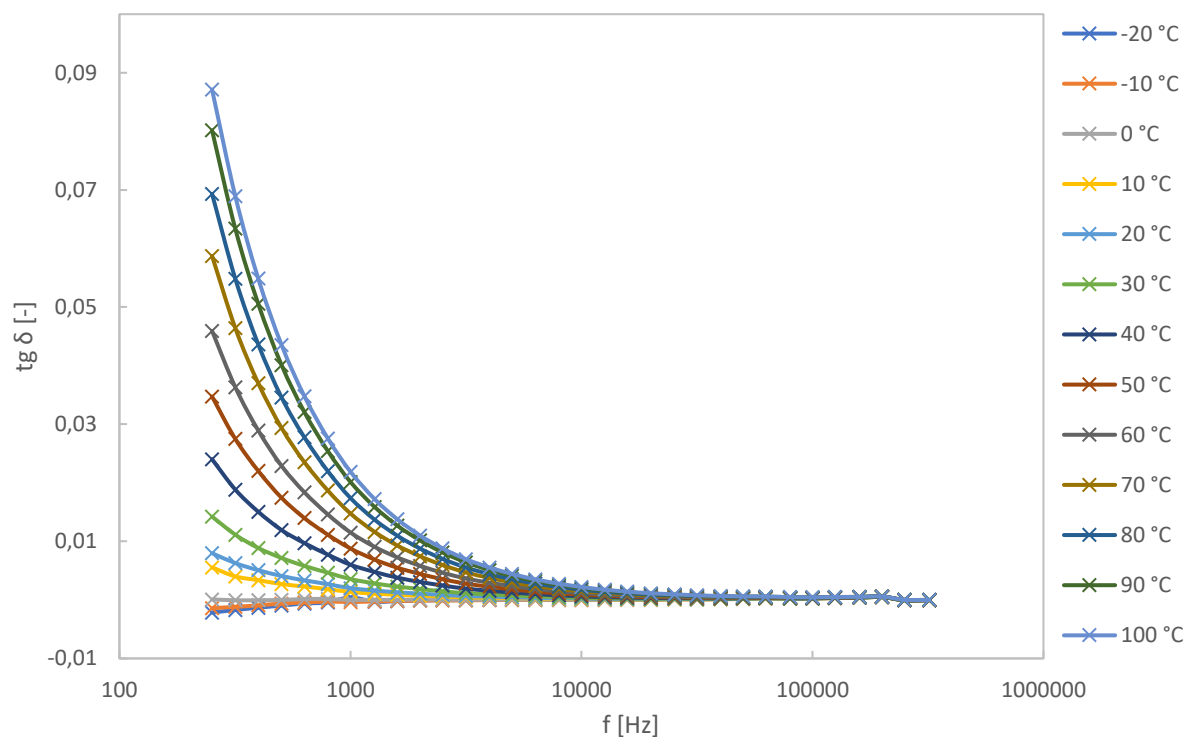


Obr. 2.18: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-82229 D)

Vzorek 18-95813 F+FAME

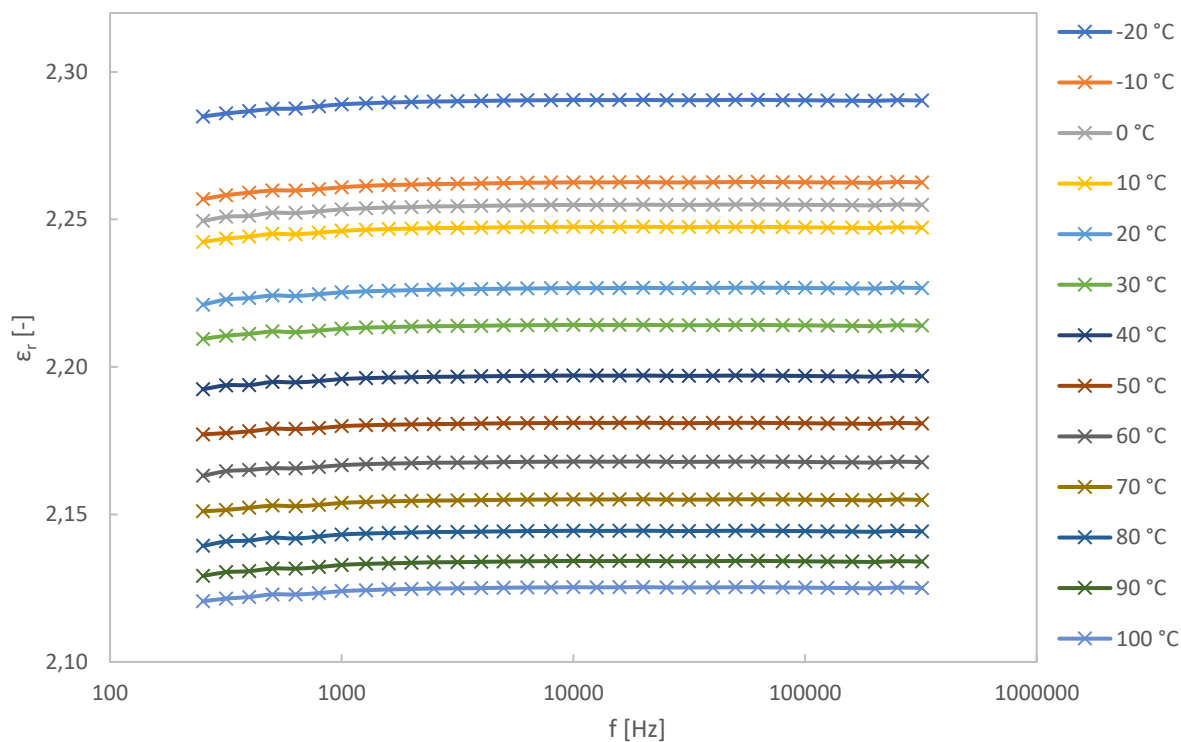


Obr. 2.19: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-95813 F)

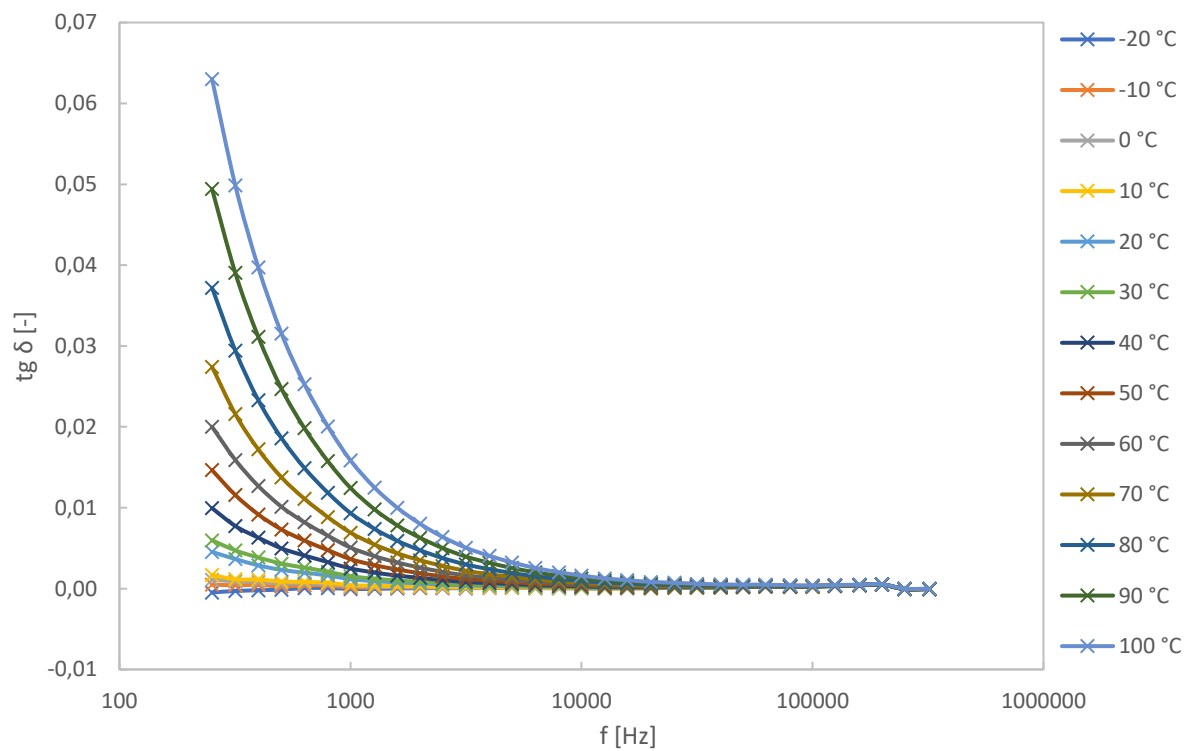


Obr. 2.20: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-95813 F)

### Vzorek OMV Diesel



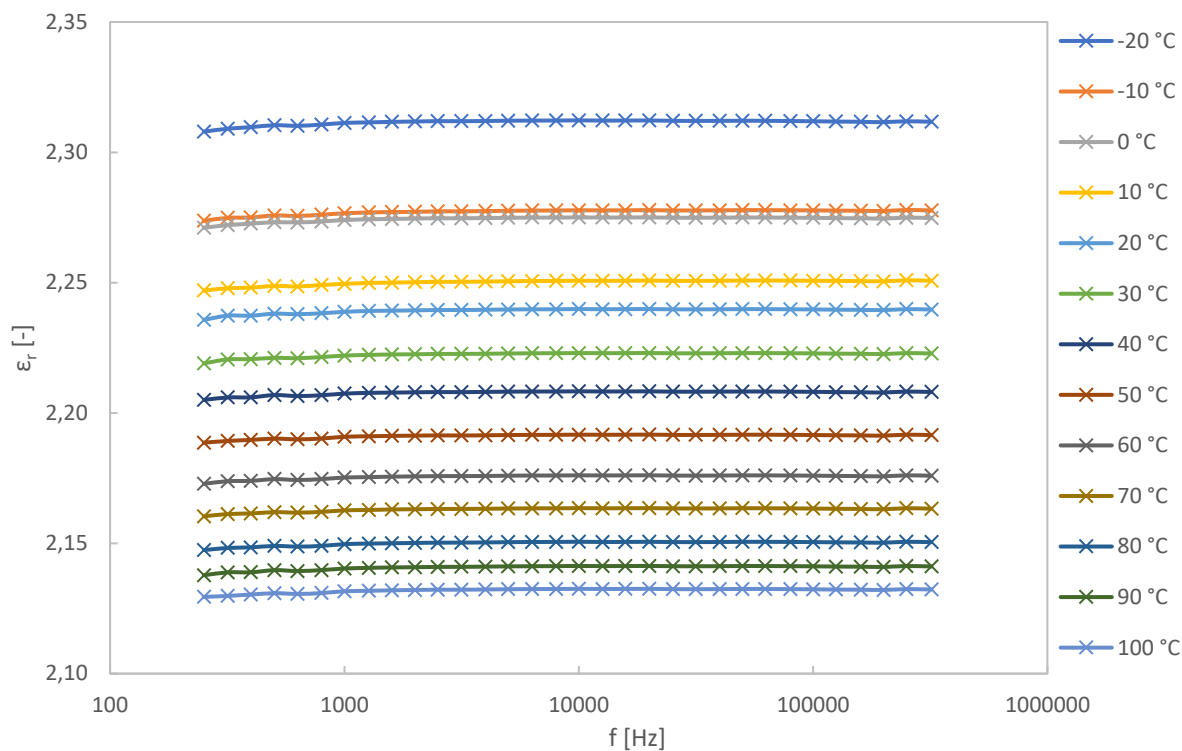
Obr. 2.21: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (OMV)



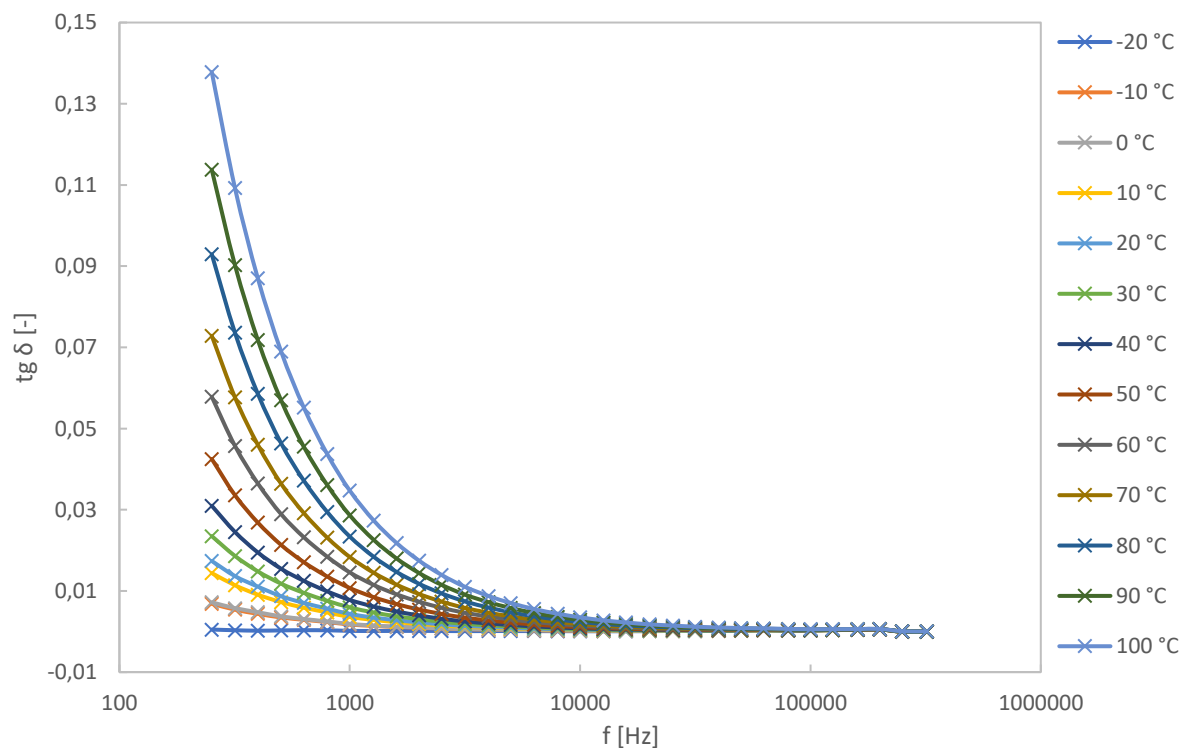
Obr. 2.22: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (OMV)



### Vzorek SHELL Diesel

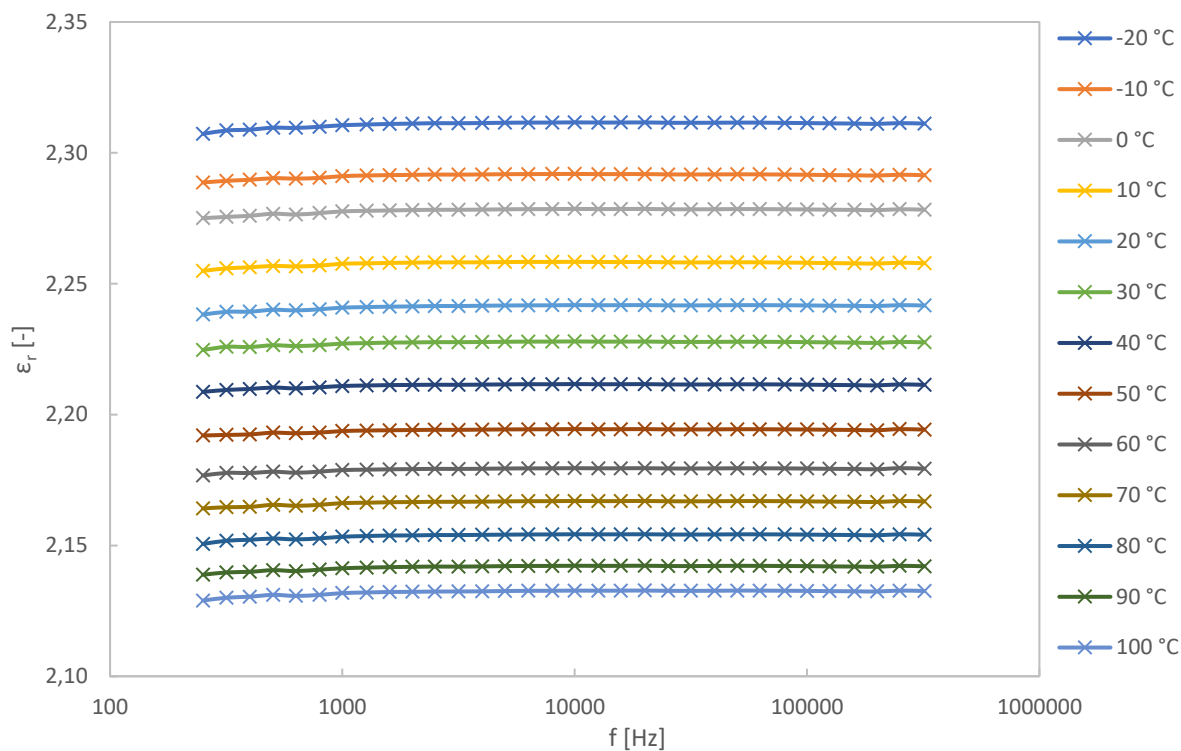


Obr. 2.23: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (SHELL)

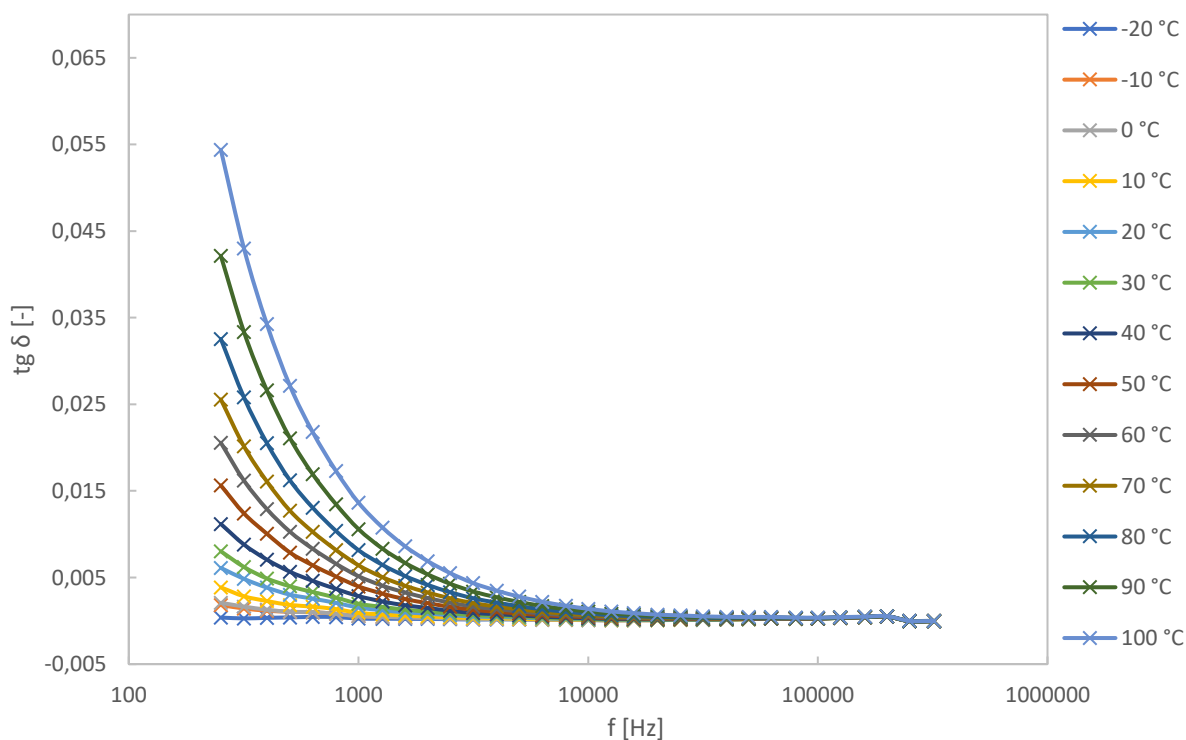


Obr. 2.24: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (SHELL)

### Vzorek MOL EVO Diesel

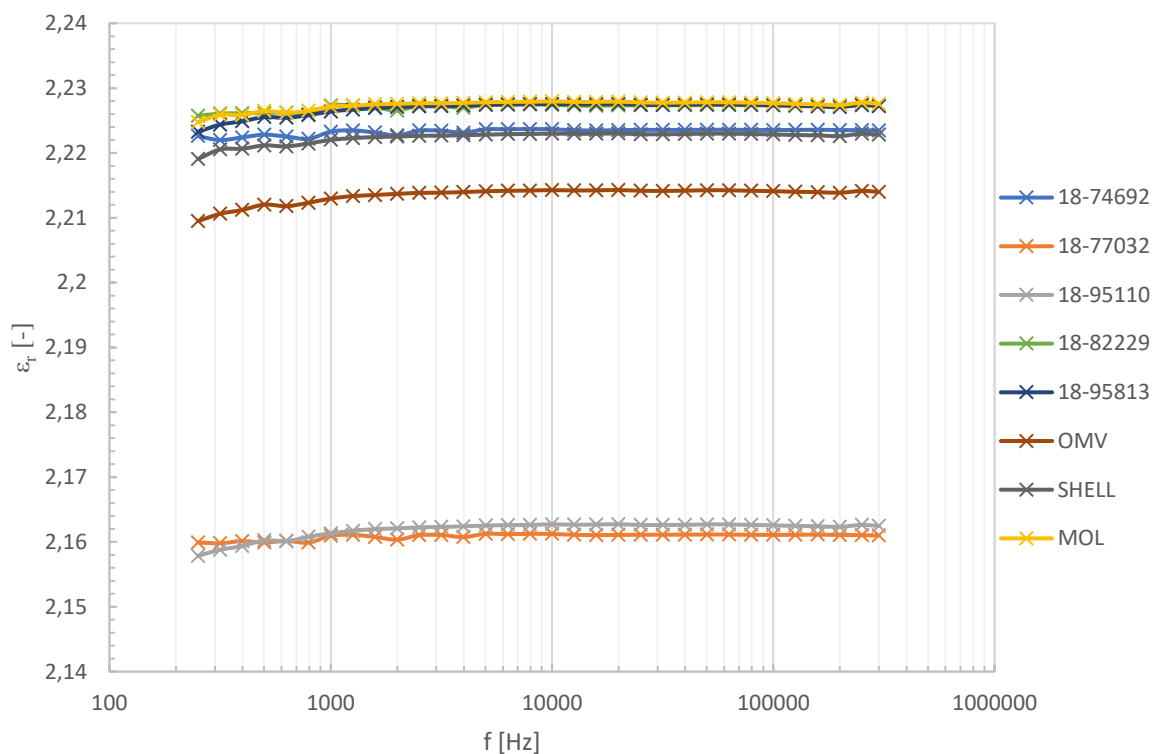


Obr. 2.25: Frekvenční závislost permitivity při měnící se teplotě (MOL)



Obr. 2.26: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (MOL)

Na základě naměřených a vypočtených hodnot dielektrických veličin byly sestaveny srovnávací grafy pro relativní permitivitu a ztrátový činitel pro všechny vzorky při stejné teplotě 30 °C. U grafu určeného pro relativní permitivitu (Obr. 2.27) není uveden vzorek z cisterny, jež se se svými hodnotami značně lišil od ostatních vzorků.



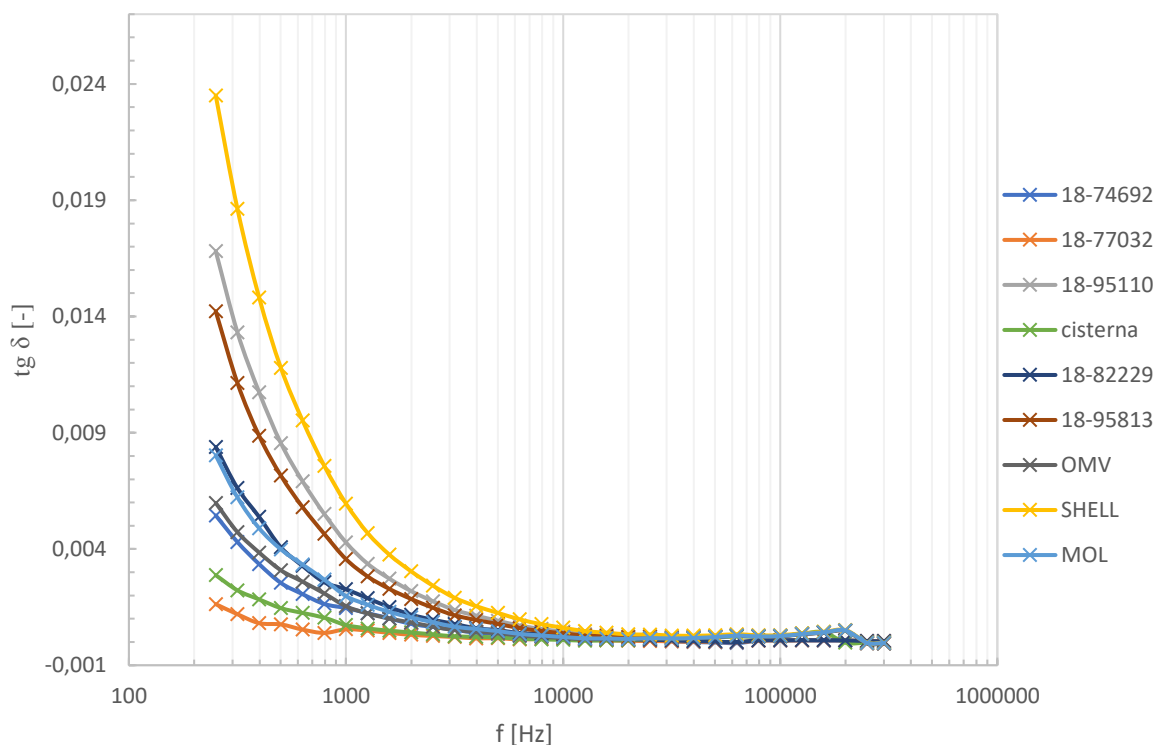
Obr. 2.27: Srovnávací graf relativní permitivity vzorků v závislosti na frekvenci při  $T = 30\text{ °C}$

Nejnižší hodnoty relativní permitivity dosahují vzorky 18-95110 a 18-77032, což jsou vzorky s aditivem NOBF. Rozdíl mezi nimi je ve filtrovatelnosti závislé na klimatických podmínkách, kdy vzorek 18-95110 je charakteristiky F neboli určen pro zimní období. Vzorek 18-77032 je charakteristiky D určen pro přechodové období.

Dále je vzorek OMV s hodnotou relativní permitivity okolo 2,21 napříč frekvenčním rozsahem. O tomto vzorku můžeme říci, že jeho aditivem bude složka FAME přibližně okolo 4 až 5 % v objemu.

Nakonec následují ostatní vzorky, jež mají velmi podobnou hodnotu relativní permitivity v rozsahu od 2,22 do 2,23. Nevyskytuje se zde větší rozdíl v závislosti na tom, o jaký druh nafty se jedná z hlediska filtrovatelnosti. U těchto vzorků lze očekávat přítomnost aditiva FAME v maximálním možném množství 7 % v objemu.

Na Obr. 2.28 jsou vyobrazeny hodnoty ztrátového činitele všech vzorků při teplotě 30 °C. Nejvyšších hodnot dosahuje vzorek SHELL, nejnižších hodnot pak vzorek 18-77032 a vzorek z cisterny. Lze konstatovat, že na hodnoty ztrátového činitele nemá příliš velký vliv obsah biosložky v naftě. Bude to dáno zejména vlastní vodivostí daného paliva.

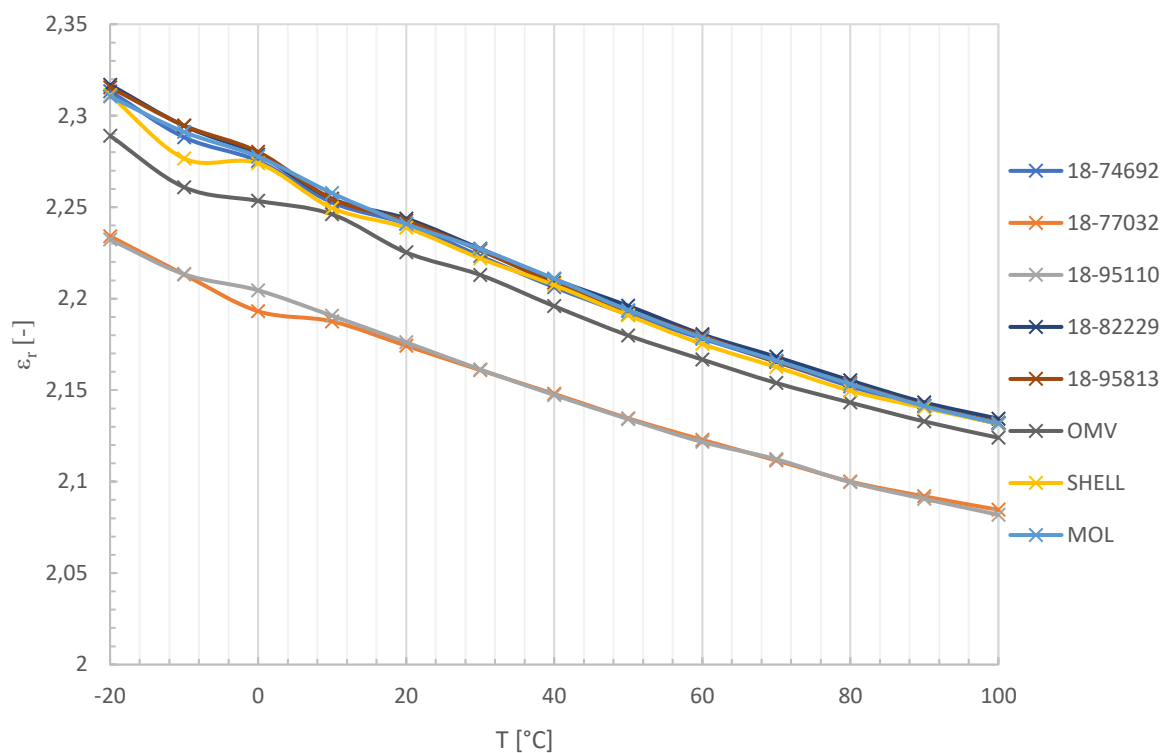


Obr. 2.28: Srovnávací graf ztrátového činitele vzorků v závislosti na frekvenci při  $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

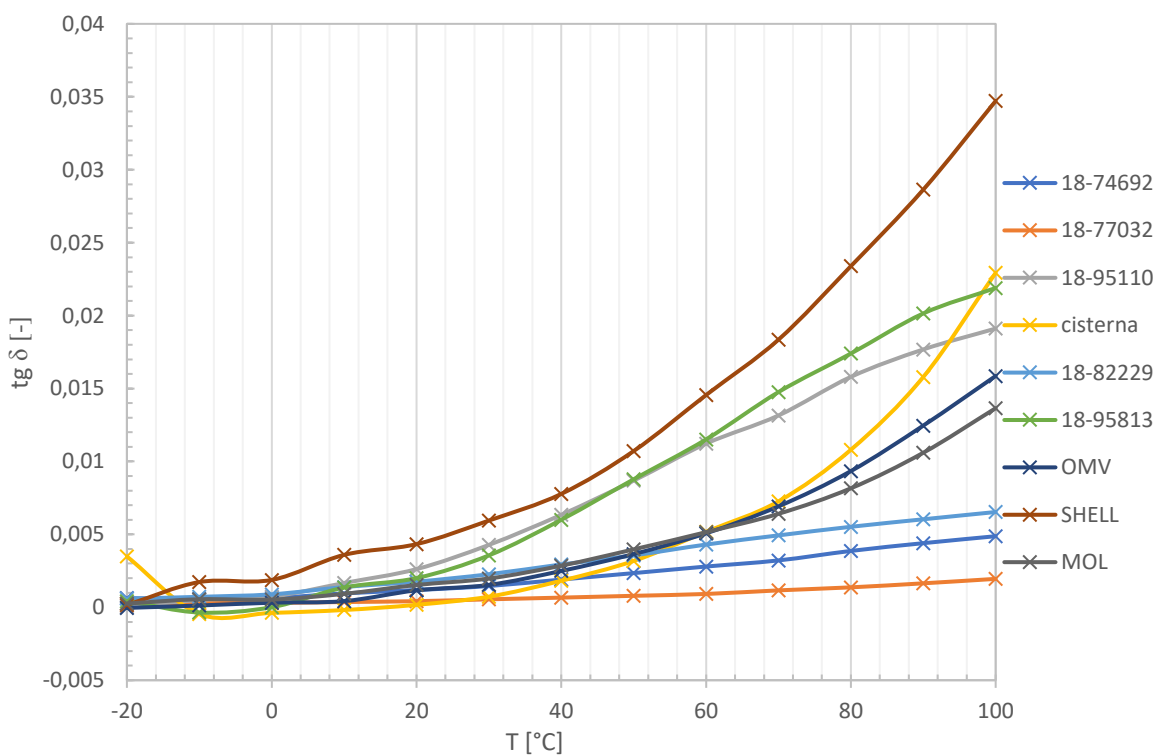
Stejně tak byly vytvořeny dva srovnávací grafy pro relativní permitivitu a ztrátový činitel v závislosti na teplotě od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  při jednotné frekvenci 1 kHz. U grafu určeného pro relativní permitivitu opět není uveden vzorek z cisterny, neboť naměřené hodnoty tohoto vzorku se značně lišily od ostatních vzorků.

Na Obr. 2.29 je graf závislosti relativní permitivity na teplotě. Je z něj patrné, že s rostoucí teplotou nám hodnota relativní permitivity klesá v téměř lineárním kroku. Objevují se zde však zákmity v záporných hodnotách teploty a kolem  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tyto zákmity jsou nejspíše způsobené zamrzající vlhkostí uvnitř paliva (vzorku) při teplotě  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a následným rozmrzáním, kdy se teplota blíží k hodnotě  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při této teplotě je zákmit naměřené relativní permitivity nejvíce viditelný.

Na Obr. 2.30 je uvedena závislost ztrátového činitele na teplotě. Lze z něj vyčíst, že nám ztrátový činitel značně rostl s rostoucí teplotou. Vzorky tak mají vyšší vodivostní ztráty při vyšších teplotách. Nejvyšší nárůst můžeme pozorovat u vzorku SHELL, kdy ztrátový činitel dosahuje hodnoty 0,0347 při teplotě  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nejnižšího nárůstu pak dosahuje vzorek 18-77032, a to 0,00195 taktéž při teplotě  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Obr. 2.29: Srovnávací graf relativní permitivity vzorků v závislosti na teplotě při frekvenci  $f = 1 \text{ kHz}$



Obr. 2.30: Srovnávací graf ztrátového činitele vzorků v závislosti na teplotě při frekvenci  $f = 1 \text{ kHz}$

## 2.2.5 Druhé měření po 1 roce k ověření teorie vlivu stárnutí

Vzorky zůstaly po prvním měření uschovány ve skleněných nádobách a byly uskladněny v laboratoři při pokojové teplotě za nulové manipulace. Nulovou manipulací se rozumí, že nebyly nijak promíchávány ani otevírány. Po jednom roce se provedlo druhé měření vybraných vzorků, aby se potvrdila teorie neřízené oxidace a vliv stárnutí na parametry dielektrických vlastností. Měření probíhalo stejně jako při prvotním měření, tzn. bylo sestaveno stejné pracoviště a taktéž postup měření zůstal nezměněn. Zachován zůstal i teplotní rozsah od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  a frekvenční rozsah od 20 Hz do 300 kHz. Grafy jsou však opět uvedeny od frekvence 250 Hz, kdy nastalo ustálení hodnot. Výsledky vypočtené permitivity vybraných vzorků dle vztahu (6) shrnuje Tab. 2.6 a výsledky naměřeného ztrátového činitele shrnuje Tab. 2.7.

Pro měření byly vybrány pouze vzorky, které měly rozdílnou hodnotu relativní permitivity mezi sebou při prvním měření. Pro ostatní vzorky lze očekávat stejný trend v nárůstu relativní permitivity v rozmezí 0,5 – 3 %.

Ke snadnějšímu a přehlednějšímu porovnání hodnot „před“ a „po“ slouží přehledová tabulka změn permitivity vzorků (Tab. 2.8) a přehledová tabulka změn ztrátového činitele (Tab. 2.9). Písmeno „X“ uvedené v závorce u daného vzorku značí měření po 1 roce.

Tab. 2.6: Výsledky měření relativní permitivity pro vybrané vzorky po 1 roce

$\epsilon_r$ [-]	teplota (při 1 kHz)					
vzorek	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$50\text{ }^{\circ}\text{C}$	$70\text{ }^{\circ}\text{C}$	$100\text{ }^{\circ}\text{C}$
18-74692 B	2,32	2,27	2,25	2,20	2,18	2,14
18-77032 D	2,25	2,22	2,19	2,15	2,13	2,09
cisterna	3,50	3,38	3,25	3,08	2,98	2,87
18-82229 D	2,33	2,28	2,26	2,20	2,18	2,14
OMV Diesel	2,31	2,28	2,25	2,18	2,16	2,14

Tab. 2.7: Výsledky měření ztrátového činitele pro vybrané vzorky po 1 roce

$\text{tg}\delta$ [-]	teplota (při 1 kHz)					
vzorek	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$50\text{ }^{\circ}\text{C}$	$70\text{ }^{\circ}\text{C}$	$100\text{ }^{\circ}\text{C}$
18-74692 B	3,97E-04	5,50E-04	7,41E-04	1,53E-03	2,40E-03	4,17E-03
18-77032 D	2,29E-04	3,24E-04	6,06E-04	1,77E-03	3,43E-03	6,21E-03
cisterna	4,01E-03	1,46E-03	4,17E-03	1,05E-02	1,80E-02	3,82E-02
18-82229 D	3,50E-04	5,99E-04	8,76E-04	2,13E-03	3,07E-03	4,12E-03
OMV Diesel	4,72E-03	7,62E-03	7,84E-03	6,18E-03	9,66E-03	2,35E-02

Nejvyšší hodnotu relativní permitivity měl vzorek z cisterny, a to v celém teplotním rozsahu. Nejnižší hodnotu měl pak vzorek 18-77032 taktéž v celém teplotním rozsahu.

Nejvyšší hodnotu ztrátového činitele měl vzorek OMV v teplotním rozsahu od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Od teploty  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  měl nejvyšší hodnotu ztrátového činitele vzorek z cisterny až po konečnou proměřovanou teplotu  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tab. 2.8: Přehledová tabulka změn permitivity pro vybrané vzorky

$\epsilon_r$ [-]	teplota (při 1 kHz)					
vzorek	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$50\text{ }^{\circ}\text{C}$	$70\text{ }^{\circ}\text{C}$	$100\text{ }^{\circ}\text{C}$
18-74692 B	2,31	2,27	2,24	2,19	2,16	2,13
18-74692 B (X)	2,32	2,27	2,25	2,20	2,18	2,14
18-77032 D	2,23	2,19	2,17	2,13	2,11	2,08
18-77032 D (X)	2,25	2,22	2,19	2,15	2,13	2,09
cisterna	3,49	3,37	3,24	3,07	2,98	2,86
cisterna (X)	3,50	3,38	3,25	3,08	2,98	2,87
18-82229 D	2,31	2,27	2,24	2,19	2,16	2,13
18-82229 D (X)	2,33	2,28	2,26	2,20	2,18	2,14
OMV Diesel	2,28	2,25	2,22	2,17	2,15	2,12
OMV Diesel (X)	2,31	2,28	2,25	2,18	2,16	2,14

Tab. 2.9: Přehledová tabulka změn ztrátového činitele pro vybrané vzorky

$\text{tg}\delta$ [-]	teplota (při 1 kHz)					
vzorek	$-20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$50\text{ }^{\circ}\text{C}$	$70\text{ }^{\circ}\text{C}$	$100\text{ }^{\circ}\text{C}$
18-74692 B	6,29E-04	6,39E-04	1,18E-03	2,34E-03	3,21E-03	4,87E-03
18-74692 B (X)	3,97E-04	5,50E-04	7,41E-04	1,53E-03	2,40E-03	4,17E-03
18-77032 D	2,37E-04	3,02E-04	4,20E-04	7,88E-04	1,16E-03	1,95E-03
18-77032 D (X)	2,29E-04	3,24E-04	6,06E-04	1,77E-03	3,43E-03	6,21E-03
cisterna	3,48E-03	3,81E-04	1,71E-04	3,17E-03	7,26E-03	2,29E-02
cisterna (X)	4,01E-03	1,46E-03	4,17E-03	1,05E-02	1,80E-02	3,82E-02
18-82229 D	5,89E-04	8,90E-04	1,75E-03	3,55E-03	4,93E-03	6,53E-03
18-82229 (X)	3,50E-04	5,99E-04	8,76E-04	2,13E-03	3,07E-03	4,12E-03
OMV Diesel	4,15E-05	3,17E-04	1,16E-03	3,64E-03	6,92E-03	1,58E-02
OMV Diesel (X)	4,72E-03	7,62E-03	7,84E-03	6,18E-03	9,66E-03	2,35E-02

Pozn.: písmeno „X“ uvedené v závorce u vzorku značí měření vzorku po 1 roce

Z naměřených výsledků můžeme vyvodit závěr, že v tak malém množství uskladněného paliva nedojde k výrazným změnám dielektrických veličin. Vzorky od výrobce Unipetrol byly skladovány v objemu 200 ml, vzorek OMV byl uskladněn o

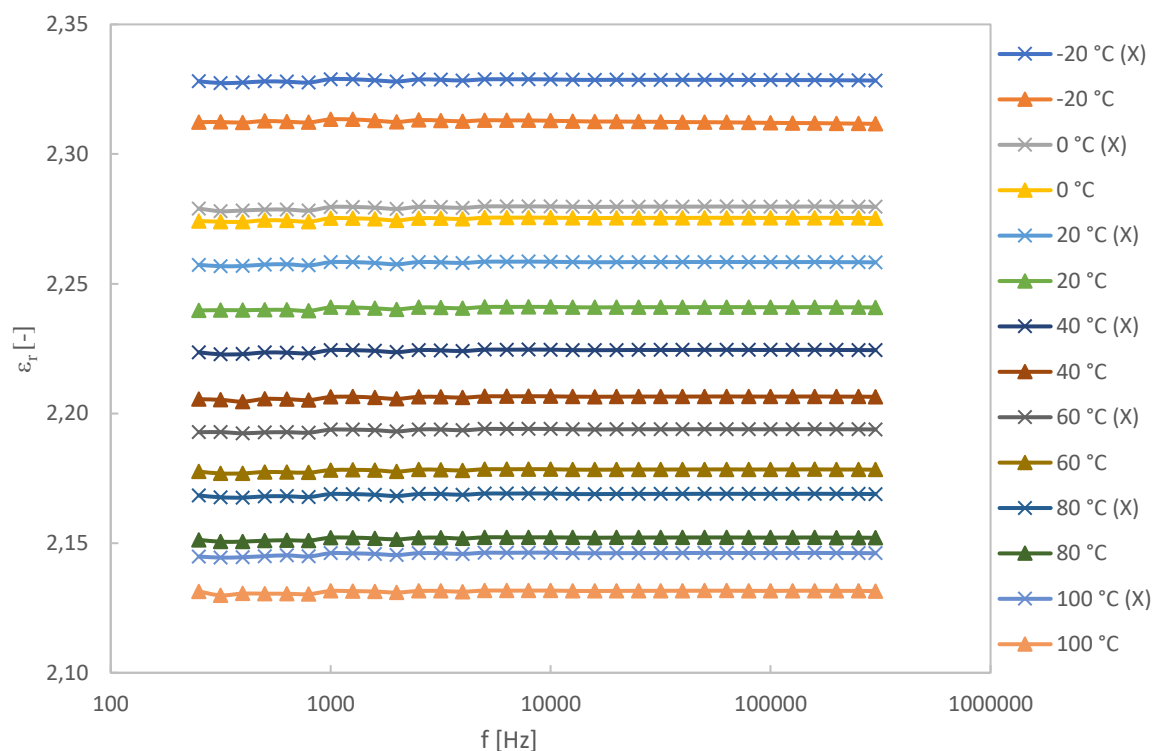
objemu 500 ml. Všechny vzorky byly skladovány ve skleněné nádobě, jenž se standartně nepoužívá pro skladování pohonných hmot. Tento druh skladování je nejspíše nejdůležitějším faktorem hrající roli na změnu dielektrických veličin způsobených stárnutím. Kdyby byly vzorky uloženy v nádobě skládající se z kovových prvků, lze usuzovat, že by působení oxidace na takto uložené vzorky mělo větší vliv.

Největších změn v průběhu stárnutí dosáhl vzorek OMV. Hodnota relativní permitivity se změnila o 3 setiny, ztrátový činitel se posunul řádově o 2 desetinná místa při teplotě  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Největší změny byly očekávané u vzorku z cisterny, jelikož se jedná o čistý FAME bez dalších aditiv. Jak již bylo zmíněno, k větším změnám nejspíše nedošlo z důvodu formy skladování. Vliv na to taktéž může mít malý objem skladovaného vzorku, jež byl 200 ml.

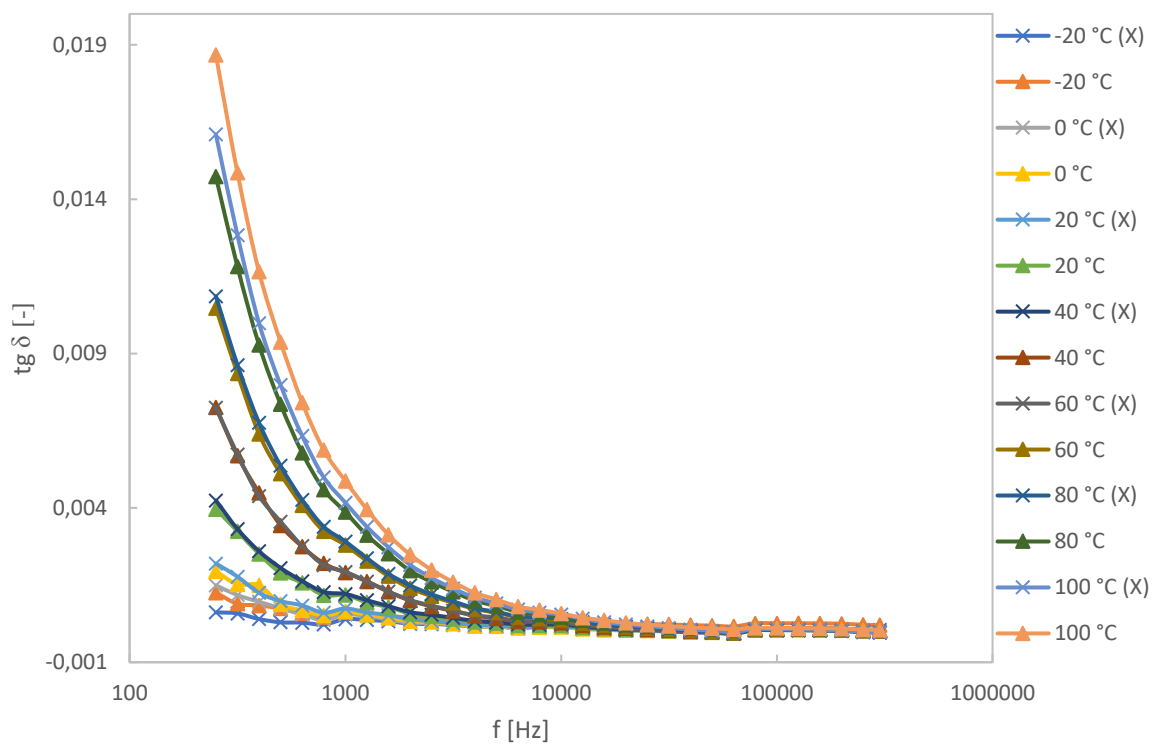
Následující grafy jsou uvedeny jak s měřením „před“, tak „po“ jednom roce. Křivky označené trojúhelníkem označují měření před rokem, křivky označené křížkem pak měření po roce. Taktéž jsou rozlišeny písmenem X v závorce u dané teploty v legendě, což značí měření po jednom roce. Uvedeny jsou pouze vybrané teploty měření. Grafy slouží k jednoznačnému rozlišení změn způsobených vlivem stárnutí.



Vzorek 18-74692 B – měření před a po 1 roce

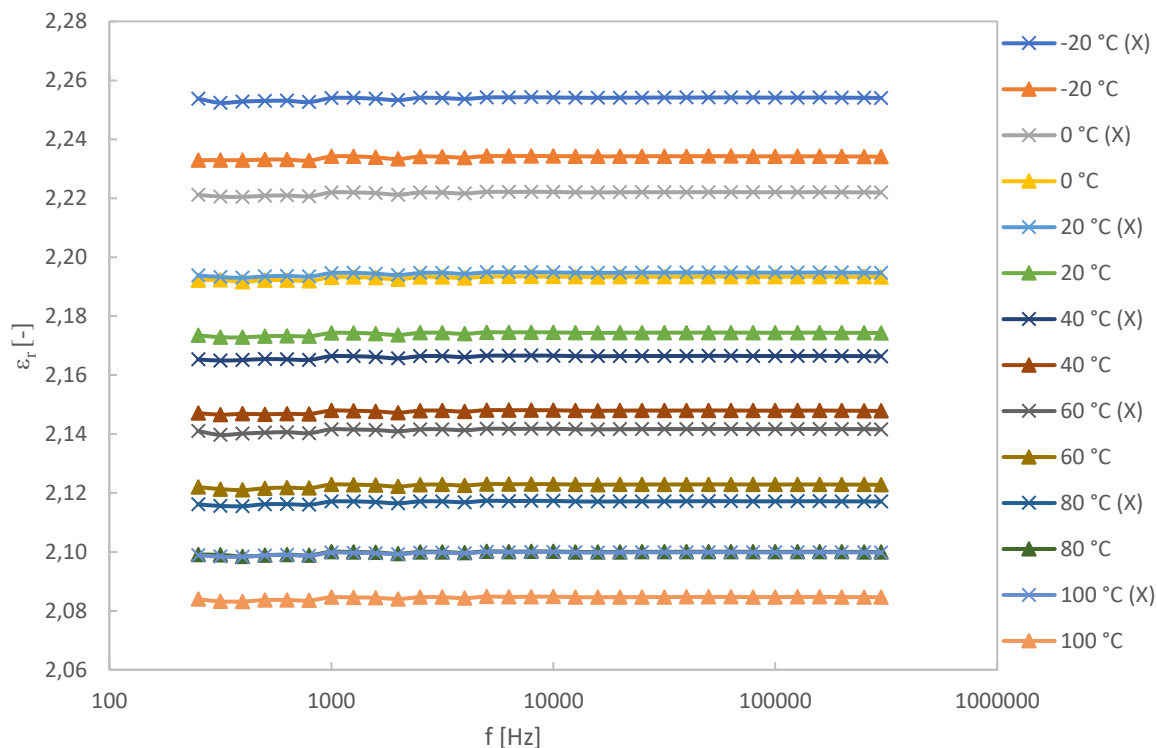


Obr. 2.31: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-74692)

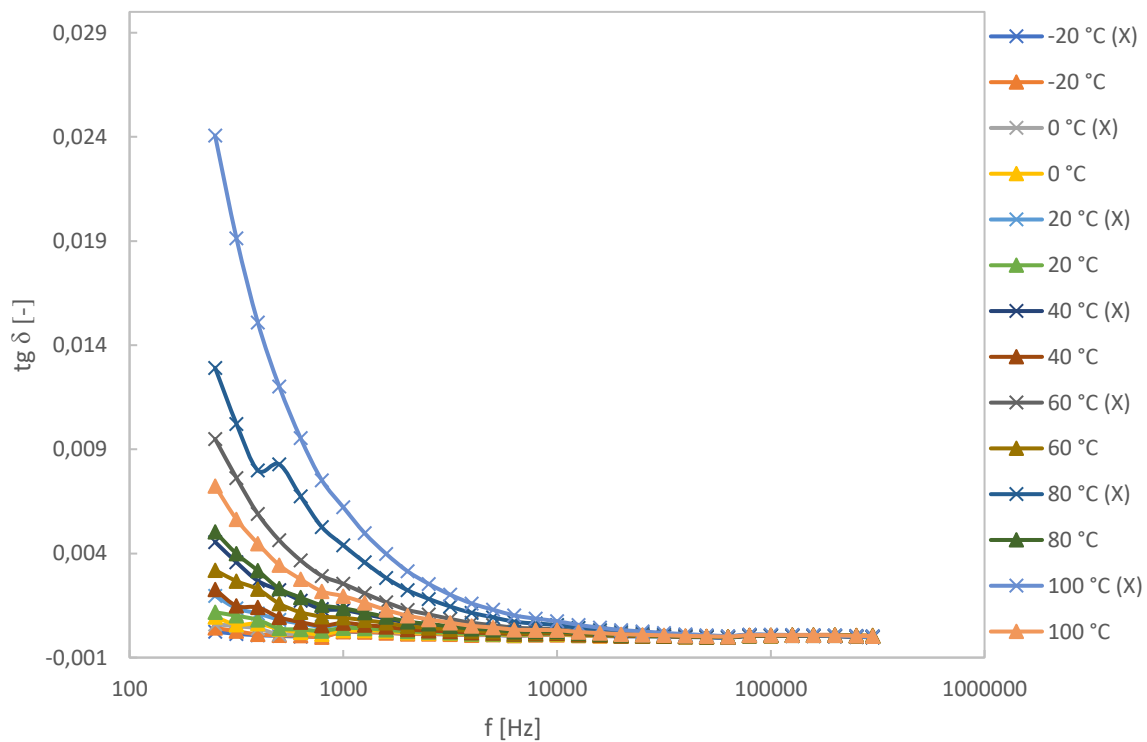


Obr. 2.32: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-74692)

Vzorek 18-77032 D – měření před a po 1 roce

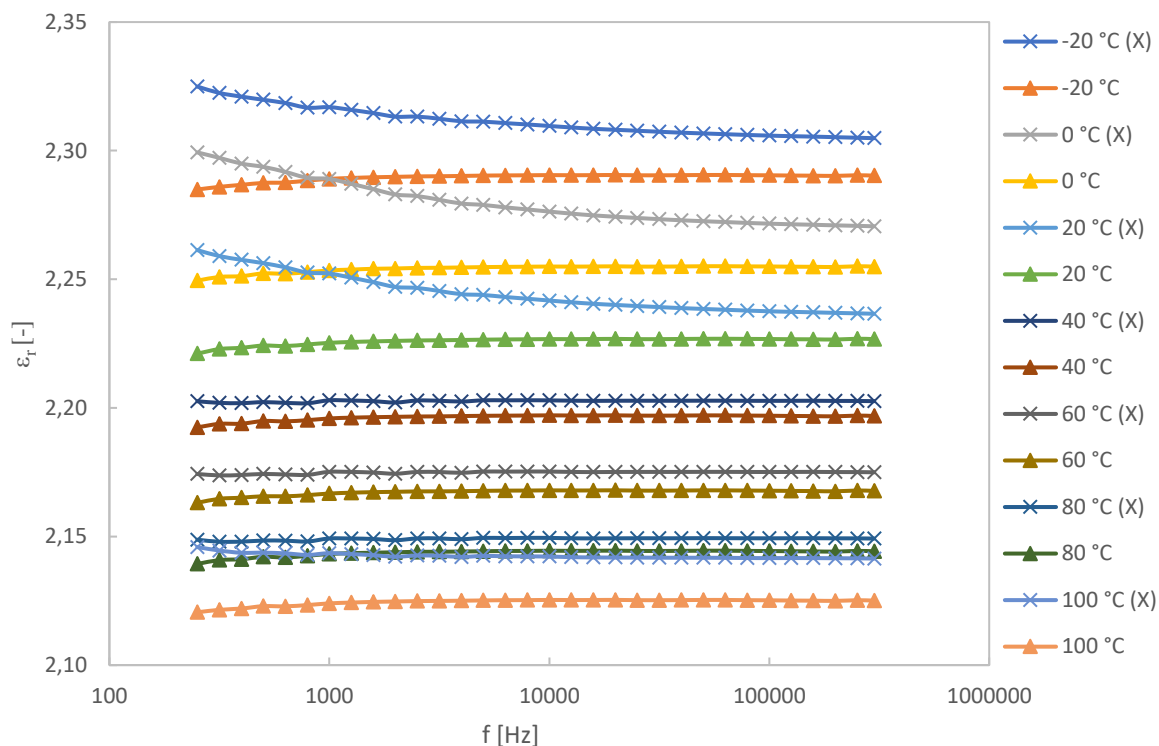


Obr. 2.33: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-77032)

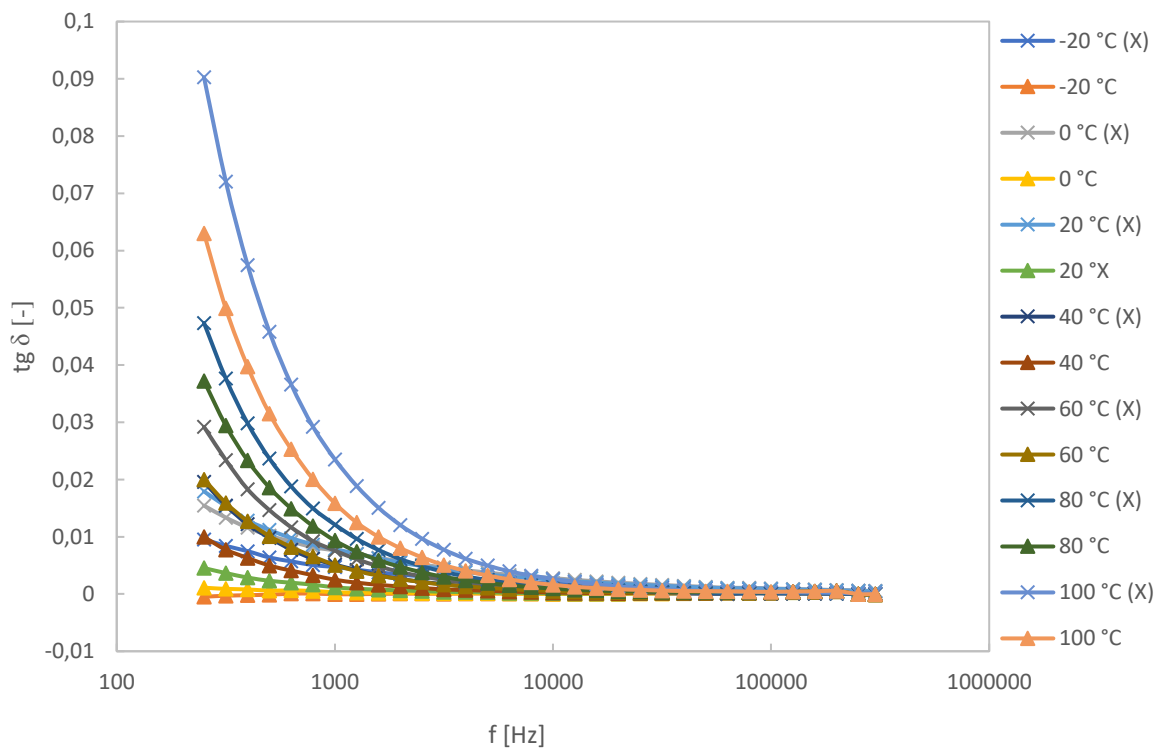


Obr. 2.34: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-77032)

Vzorek OMV Diesel – měření před a po 1 roce

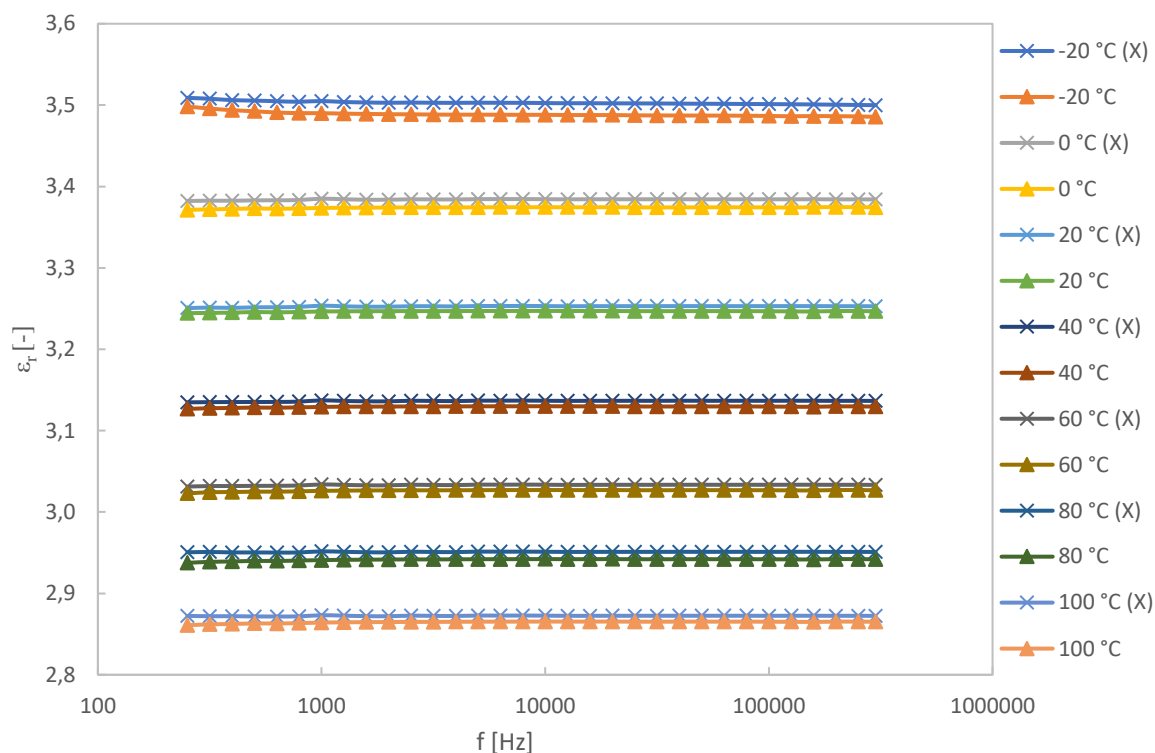


Obr. 2.35: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (OMV)

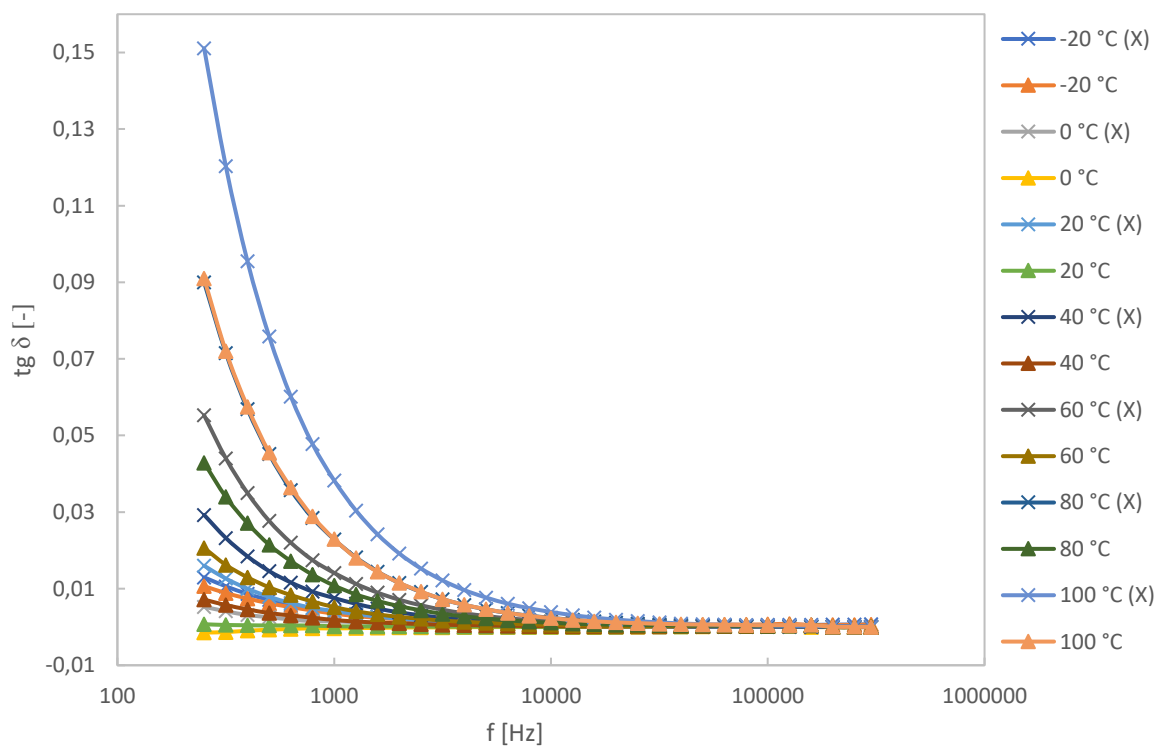


Obr. 2.36: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (OMV)

Vzorek cisterna FAME – měření před a po 1 roce

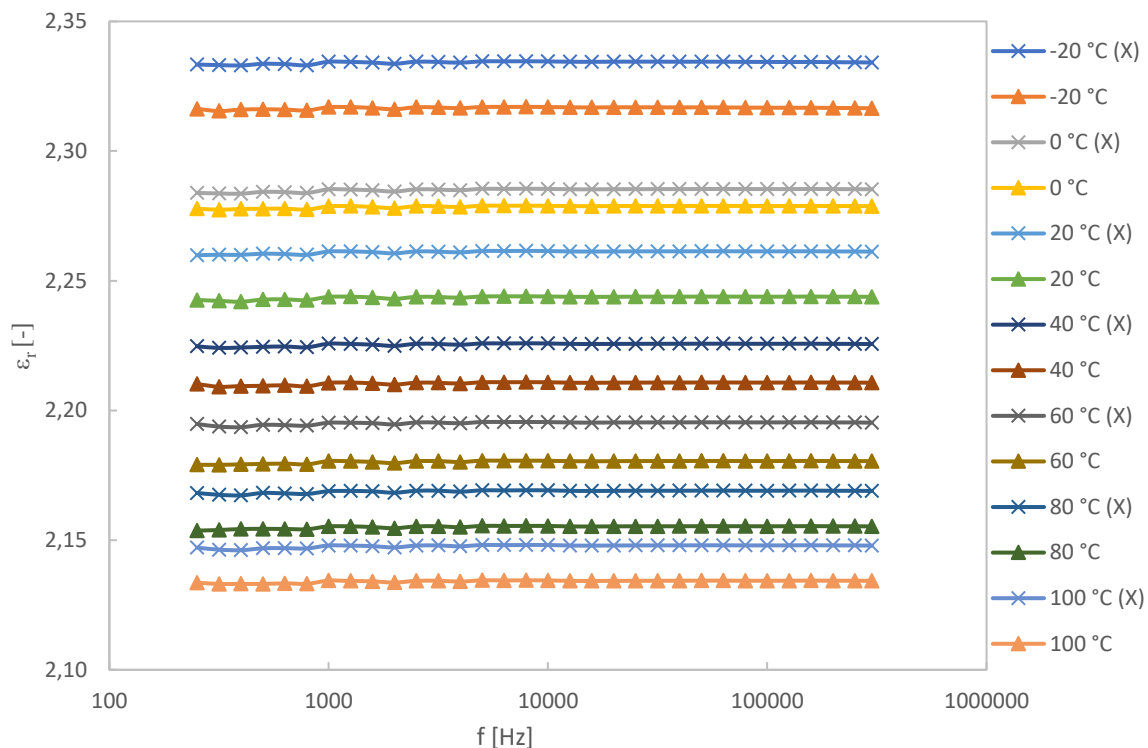


Obr. 2.37: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (cisterna)

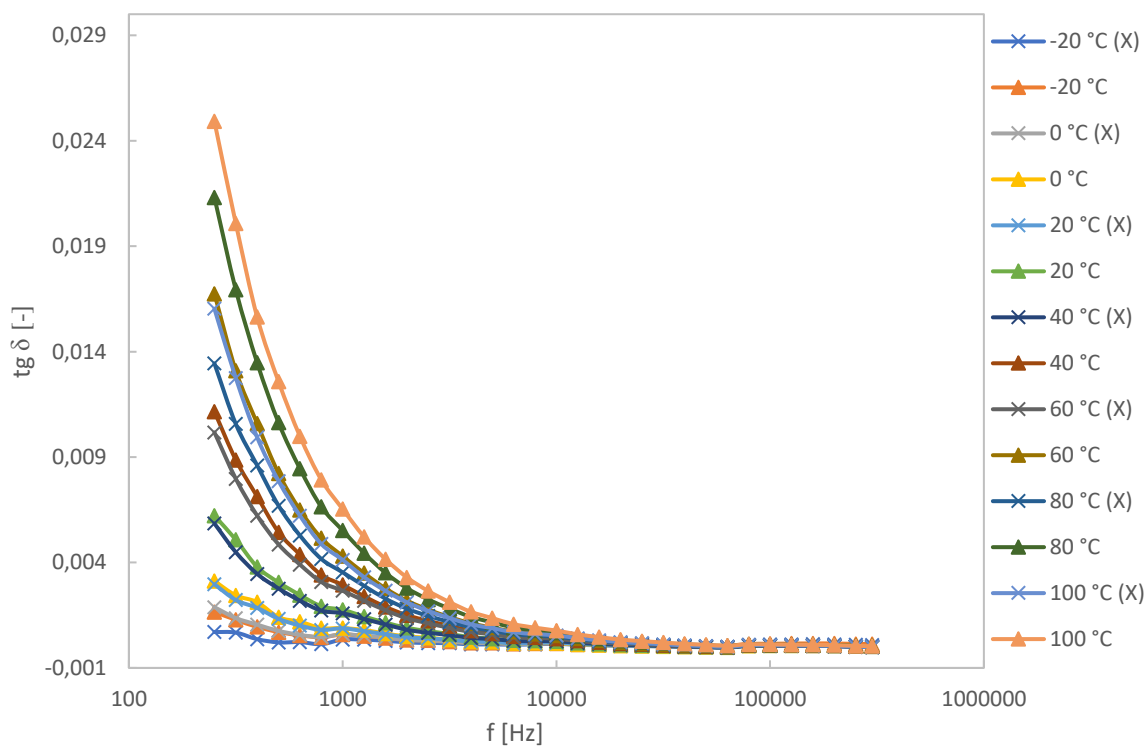


Obr. 2.38: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (cisterna)

Vzorek 18-82229 D – měření před a po 1 roce



Obr. 2.39: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-82229)



Obr. 2.40: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-82229)

### 3 ZÁVĚR

V teoretické části bakalářské práce jsou popsány fyzikální podstaty základních dielektrických veličin – permitivita a ztrátový činitel. Dále jsou uvedeny výzkumy využívající vlastností permitivity v pohonných hmotách podobné tématu této bakalářské práce. Jsou zde uvedeny nejznámější naftová a benzínová paliva dostupné v České republice a jejich stručný popis. Je uveden přehled vybraných izolačních kapalin a jejich vlastnosti, jež jsou charakteristicky podobné palivům.

Pro vlastní měření bylo sestaveno pracoviště zahrnující práci se softwarem Feroelektrika\_LAN od firmy Agilent. Dále byl použit měřicí elektrodový systém Agilent 16452 A, ve kterém byl umístěn vzorek a celý elektrodový systém byl poté ponořen do olejové lázně, která sloužila pro simulaci různých teplot. Teplota byla ovládána pomocí termostatu Medigen ručně. Elektrodový systém byl během měření připojen na LCR metr, na kterém byly odečítány měřené hodnoty do připojeného počítače. Zápis probíhal pro každou teplotu čtyři krát, z čehož se pak vytvořil aritmetický průměr. Všechna měření byla provedena pro teplotní rozsah od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  a pro frekvenční rozsah od 20 Hz do 300 kHz. Výsledky jsou uvedeny od frekvence 250 Hz, kdy došlo k ustálení hodnot.

Ze změřených hodnot kapacity byla vypočítána permitivita vzorků. Ztrátový činitel vzorků byl měřen přímo LCR metrem. Tyto výsledky byly poté graficky interpretovány. Pro přehlednost byly vytvořeny tabulky s hodnotami, kdy se každá tabulka zaměřuje buď na relativní permitivitu nebo ztrátový činitel. Obsahují hodnoty měření při frekvenci 1 kHz a při vybraných teplotách. Následně proběhlo měření stejných vzorků po 1 roce. Měření bylo realizováno za účelem potvrzení teorie vlivu stárnutí na kvalitu paliv. Z našeho hlediska se jedná o změnu dielektrických vlastností. Měření prokázalo, že oxidace paliv způsobila změnu permitivity a ztrátového činitele v rozmezí od 1 do 5 %.

Největší hodnoty relativní permitivity dosáhl vzorek z cisterny a to 3,5 při teplotě  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jedná se o čistý FAME (MEŘO). Poté následují vzorky s aditivem FAME a dalšími aditivy. Hodnota relativní permitivity těchto vzorků je 2,31 při teplotě  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Poslední s nejnižší hodnotou relativní permitivity jsou vzorky s aditivem NOBF, jejichž hodnota je 2,23 při teplotě  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pro všechny vzorky platí trend snižování relativní permitivity při rostoucí teplotě. Nejnižší hodnoty relativní permitivity dosahují vzorky s přídavkem NOBF a to při teplotě  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kdy dosahují hodnoty  $\epsilon_r = 2,08$ .

Nejnižší naměřená hodnota ztrátového činitele byla u vzorku OMV a to při  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kdy byl roven hodnotě  $4,15\text{E-}05$ . S rostoucí teplotou byl trend zvyšování hodnoty ztrátového činitele v celém frekvenčním rozsahu u všech vzorků. Nejvyšší hodnoty ztrátového činitele dosáhl vzorek SHELL a to s hodnotou  $2,18\text{E-}02$  při teplotě  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

U vzorků 18-74692, 18-82229 a 18-95813, kdy se liší v typech v závislosti na filtrovatelnosti (B, D, F), ale mají stejné aditivum (FAME), se vyskytují minimální rozdíly z pohledu dielektrických veličin. Hodnota relativní permitivity těchto vzorků je téměř stejná, liší se pouze u teploty  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Větších změn dosahuje ztrátový činitel, kdy při teplotě  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  je rozdíl o jeden řád mezi vzorky 18-95813 B (letní typ) a 18-74692 F (zimní typ). Podobně je to pro vzorky 18-77032 (přechodový typ) a 18-95110 (zimní typ), kdy aditivem u těchto vzorků je přídatek NOBF. Jejich permitivita se opět liší pouze u teploty  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , jinak je stejná v celém teplotním rozsahu. Ztrátový činitel je odlišný o jeden řád v celém teplotním rozsahu. Při teplotách  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  má vyšší hodnotu ztrátového činitele vzorek 18-77032, který je řádově  $x \cdot 10^{-4}$  až do teploty  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při teplotě  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  však dochází ke změně a vyšší hodnotu ztrátového činitele má vzorek 18-95110, který je řádově  $x \cdot 10^{-3}$ . Tyto zákmity relativní permitivity při teplotě  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  jsou důsledkem nejspíše zamrzlé vlhkosti a jejího následného rozmrazení, což způsobilo nestálost vzorku a chybu měření.

U vzorků měřených po jednom roce došlo ke změnám dielektrických veličin. Předpokladem bylo, že vlivem neřízené oxidace dojde k nárustu relativní permitivity a ztrátového činitele. Předpokladem bylo, že k největším změnám dojde u vzorku z cisterny, kdy se jedná o čistý FAME bez dalších aditiv, tudíž se jedná o nejnáchylnější vzorek k oxidaci. Měření však tento odhad vyvrátilo. K největší změně relativní permitivity došlo u vzorku OMV, kdy rozdíl „před“ a „po“ jednom roce činil tři setiny, což tvoří nárůst o 1,3 %. Vzorku OMV bylo dvojnásobné množství než ostatních měřených vzorků. Důvodem tak malých změn relativní permitivity může tedy být malý objem vzorků a jejich uskladnění ve skleněných nádobách, ve kterých byl omezený kontakt vzduchu se vzorkem po celou dobu uskladnění. Největších změn ztrátového činitele dosáhl taktéž vzorek OMV, kdy při teplotě  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  došlo k nárustu hodnoty o dva řády, při teplotě  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  o jeden řád a od teploty  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  byl ztrátový činitel ve stejném řádu, avšak vyšší až do konce proměřované teploty  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Provedená měření ilustrují změnu permitivity a ztrátového činitele vybraných vzorků paliva v širokém teplotním a frekvenčním rozsahu. Těchto poznatků by se dalo patřičně využít například při měření hladiny paliva měřicími přístroji na bázi elektrického měření. Výsledků měření po roce by se dalo využít k diagnostice paliva – ke sledování vlastností paliva a jejich změn.

## LITERATURA

- [1] JIRÁK, Josef, Rudolf AUTRATA, Karel LIEDERMANN, Zdenka ROZSÍVALOVÁ a Marie SEDLAŘÍKOVÁ. *Materiály a technická dokumentace - část Materiály v elektrotechnice* [Elektronický učební text, 103 stran]. Brno [cit. 2019-12-03]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/predmety/detail/133203?apid=133203>
- [2] CORACH, Julián, Eriel GALVÁN, Patricio SORICHETTI a Silvia ROMANO. *Broadband permittivity sensor for biodiesel and blends*. Fuel [online]. 2019, 254 [cit. 2019-11-02]. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.115679. ISSN 00162361. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236119310312>
- [3] POLJAK, František. *Dielektriká Izolanty*. 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1983. ISBN 63-073-83.
- [4] KAZELLE, Jiří a Karel LIEDERMANN. *Elektronické materiály a výrobní procesy* [Elektronický učební text, 273 stran]. Brno [cit. 2019-12-03].
- [5] BRANDOS, Otakar. *Permitivita vakua a relativní permitivita látek*. TREKING [online]. [cit. 2019-11-02]. Dostupné z: <https://www.treking.cz/astroonomie/permitivita.htm>
- [6] MENTLÍK, Václav. *Dielektrické prvky a systémy*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-730-0189-6.
- [7] MALÝ, Zdeněk a Mojmír SIMERSKÝ. *Elektrotechnologie – Elektrotechnické materiály*. Druhé vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1985. ISBN 04-508-85.
- [8] TOULOVÁ, Jana. *Vlastnosti kapalin na bázi organických esterů* [online]. Brno, 2012 [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=54722](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54722). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Frk, Ph.D.
- [9] *Technologie zpracování ropy a jejich produktů* [online]. [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=6452](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=6452)
- [10] CORACH, J., P.A. SORICHETTI a S.D. ROMANO. *Permittivity of biodiesel-rich blends with fossil diesel fuel: Application to biodiesel content estimation*. Fuel [online]. 2016, 177, 268-273 [cit. 2019-12-05]. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.02.086. ISSN 00162361. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236116300217>
- [11] CORACH, J., P.A. SORICHETTI a S.D. ROMANO. *Permittivity of diesel fossil fuel and blends with biodiesel in the full range from 0% to 100%: Application to biodiesel content estimation*. Fuel. 2017, 188, 367-373. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.10.019. ISSN 00162361. Dostupné z:



<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001623611630967X>

- [12] *Skupina OMV* [online]. [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://www.omv.cz/cs-cz>
- [13] *MOL Group* [online]. [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <https://evo.molcesko.cz/>
- [14] *Shell* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.shell.cz/>
- [15] *Unipetrol* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.unipetrol.cz/cs/ONas/Stranky/default.aspx>
- [16] *Čepro a.s.* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://www.ceproas.cz/>
- [17] MUŽÍKOVÁ, Zlata. *Oxidační stabilita kapalných motorových paliv a biopaliv*. Chemické listy [online]. 2013(107), 6 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2013\\_06\\_450-455.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2013_06_450-455.pdf)
- [18] SPOHNER, Milan. *Diagnostika perspektivních elektroizolačních kapalin*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Martin Frk, Ph.D.
- [19] *National Library of Medicine* [online]. USA [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Benfluron-N-oxide>
- [20] LÉBL, Jan. *Pohonné hmoty v 21. století* [online]. Brno, 2009 [cit. 2020-04-30]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Cole-Coleho diagram pro parametr $\alpha = 0$ při konstantní teplotě $\vartheta$ [3] .....	12
Obr. 1.2: Cole-Davidsonův diagram s distribučním parametrem $\beta$ [6] .....	13
Obr. 1.3: Náhradní zapojení kondenzátoru se ztrátovým dielektrikem a jeho fázový diagram – a) paralelní kombinace, b) sériová kombinace [1].....	14
Obr. 1.4: Frekvenční závislost ztrátového činitele pro sériový náhradní obvod .....	15
Obr. 1.5: Frekvenční závislost ztrátového činitele pro paralelní náhradní obvod .....	16
Obr. 1.6: Teplotní závislost ztrát při konstantní frekvenci (vlevo) a frekvenční závislost ztrát při konstantní teplotě (vpravo) [1] .....	16
Obr. 1.7: Referenční hodnoty (přímka) a změřené hodnoty permitivity cyklohexanu ( $\Delta$ ), bionafty ( $\square$ ) a butanolu ( $\circ$ ) [2].....	19
Obr. 1.8: Trojrozměrný graf závislosti relativní permitivity na teplotě a procentuálním zastoupení bionafty – experimentální měření ( $\bullet$ ) a odhadnuté hodnoty ( $\circ$ ) z matematického popisu [10] .....	20
Obr. 1.9: Trojrozměrný graf závislosti procentuálního zastoupení biosložky v kompozici ( $B_x$ ) na teplotě a relativní permitivitě – experimentálně změřené složky kompozice ( $\blacktriangle$ ) a odhadnuté $B_x$ dle matematického popisu jako funkce teploty a relativní permitivity ( $\square$ ) [10].....	21
Obr. 1.10: Závislost relativní permitivity na teplotě a daného $B_x$ – experimentálně změřená data ( $\bullet$ ) a matematický odhad ( $\circ$ ) [11] .....	22
Obr. 1.11: Závislost podílu biosložky $B_x$ na teplotě a relativní permitivitě – obsah bionafty ve vzorku ( $\blacktriangle$ ) a odhad na základě matematického popisu ( $\Delta$ ) [11] .....	22
Obr. 2.1: Blokové schéma měřícího pracoviště .....	31
Obr. 2.2: Ilustrační náhled na nastavení programu Feroelektrika_LAN – Agilent VEE 32	
Obr. 2.3: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě pro první měření vzorku OMV .....	35
Obr. 2.4: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě pro první měření vzorku OMV .....	36
Obr. 2.5: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě pro druhé měření vzorku OMV .....	37
Obr. 2.6: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě pro druhé měření vzorku OMV .....	37
Obr. 2.7: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě pro třetí měření vzorku OMV .....	38
Obr. 2.8: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě pro třetí měření vzorku OMV .....	38

Obr. 2.9: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-74692) ..	42
Obr. 2.10: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-74692) ...	42
Obr. 2.11: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-77032)	43
Obr. 2.12: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-77032) ...	43
Obr. 2.13: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-95110)	44
Obr. 2.14: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-95110) ...	44
Obr. 2.15: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (cisterna) ...	45
Obr. 2.16: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (cisterna).....	45
Obr. 2.17: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-82229 D) .....	46
Obr. 2.18: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-82229 D)	46
Obr. 2.19: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-95813 F) .....	47
Obr. 2.20: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-95813 F)	47
Obr. 2.21: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (OMV) .....	48
Obr. 2.22: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (OMV).....	48
Obr. 2.23: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (SHELL) ...	49
Obr. 2.24: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (SHELL).....	49
Obr. 2.25: Frekvenční závislost permitivity při měnící se teplotě (MOL) .....	50
Obr. 2.26: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (MOL) .....	50
Obr. 2.27: Srovnávací graf relativní permitivity vzorků v závislosti na frekvenci při T = 30 °C .....	51
Obr. 2.28: Srovnávací graf ztrátového činitele vzorků v závislosti na frekvenci při T = 30 °C .....	52
Obr. 2.29: Srovnávací graf relativní permitivity vzorků v závislosti na teplotě při frekvenci f = 1 kHz .....	53
Obr. 2.30: Srovnávací graf ztrátového činitele vzorků v závislosti na teplotě při frekvenci f = 1kHz .....	53
Obr. 2.31: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-74692)	57
Obr. 2.32: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-74692) ...	57
Obr. 2.33: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-77032)	58
Obr. 2.34: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-77032) ...	58
Obr. 2.35: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (OMV) .....	59
Obr. 2.36: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (OMV).....	59
Obr. 2.37: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (cisterna) ...	60
Obr. 2.38: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (cisterna).....	60

Obr. 2.39: Frekvenční závislost relativní permitivity při měnící se teplotě (18-82229) 61

Obr. 2.40: Frekvenční závislost ztrátového činitele při měnící se teplotě (18-82229)... 61

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1: Informační tabulka benefitů jednotlivých naft firmy OMV Diesel [12] .....	23
Tab. 2.1: Rozdělení motorových naft podle filtrovatelnosti v závislosti na ročním období .....	33
Tab. 2.2: Naměřené hodnoty geometrické kapacity uvnitř elektrodového systému.....	33
Tab. 2.3: Souhrnný seznam výsledných grafů pro jednotlivé vzorky .....	39
Tab. 2.4: Shrnutí naměřených hodnot relativní permitivity pro vybrané teploty .....	40
Tab. 2.5: Shrnutí naměřených hodnot ztrátového činitele pro vybrané teploty.....	41
Tab. 2.6: Výsledky měření relativní permitivity pro vybrané vzorky po 1 roce .....	54
Tab. 2.7: Výsledky měření ztrátového činitele pro vybrané vzorky po 1 roce.....	54
Tab. 2.8: Přehledová tabulka změn permitivity pro vybrané vzorky.....	55
Tab. 2.9: Přehledová tabulka změn ztrátového činitele pro vybrané vzorky.....	55